

Universität Zürich  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Vorsteher: Dr. med. dent. H. C. Hirzel

Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

---

Arbeit unter der Leitung von Prof. Dr. med. dent. T. Imfeld, MBA

**Effekte elektrischer Zahnbürsten  
auf vorbestehende keilförmige Defekte:  
eine in vitro Studie**

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
**Urs Christoph Keller**  
**von Weinfelden TG**

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. T. Imfeld, MBA  
Zürich 2006

In Liebe  
und Dankbarkeit meiner  
Frau Bettina,  
meinen Kindern  
Laura und Julia  
und meinen Eltern für  
ihre Unterstützung  
gewidmet

## **Verdankungen**

Herrn Professor Th. Imfeld danke ich für die stets freundliche Unterstützung in allen Belangen der Arbeit sowie deren Korrektur.

Frau B. Sener möchte ich meinen besonderen Dank für die unermüdliche Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei meiner Arbeit im Labor aussprechen.

Herrn F. Schmutz, Frau C. Cucuzza, Frau S. Haselbeck, Frau M. Lei und Frau P. Irenen danke ich für die Hilfe beim Bedienen der Laborgeräte.

Herrn W. Bucher danke ich für das prompte Herstellen und Modifizieren von Geräten für meine Versuche und Herrn T. Reich möchte ich herzlich danken für seinen ausführlichen Support in Sachen Computer und 3-DS.

Frau Eschle danke ich für die warmherzige Hilfe bei der Literatursuche, Herrn Gmür für die freundliche Beratung zur elektronischen Literaturverwaltung und Frau Wessendorf für die geduldige Unterstützung beim Layout der Dissertation.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung / Abstract</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>2. Einleitung</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1 Ziel der Arbeit. . . . .	7
2.2 Definition und Klassifikation . . . . .	8
2.3 Ätiologie . . . . .	10
2.4 Epidemiologie. . . . .	11
<b>3. Material und Methoden</b> . . . . .	<b>13</b>
3.1 Materialien. . . . .	13
3.1.1 Zahnmaterial . . . . .	13
3.1.3 Einbetten der Zähne . . . . .	14
3.1.4 Slurry . . . . .	15
3.1.5 Elektrische Zahnbürsten . . . . .	16
3.2 Bürstmaschine . . . . .	16
3.2.1 Apparatur . . . . .	16
3.2.2 Ausrichtung der Bürstenköpfe . . . . .	17
3.3 Untersuchungsmethoden. . . . .	17
3.3.1 Vermessung der Zähne . . . . .	17
3.3.2 Datenauswertung . . . . .	19
3.3.3 Platzzuordnung auf der Bürstmaschine . . . . .	19
3.3.4 Bürstdauer . . . . .	19
3.3.5 Abformung und Rasterelektronenmikroskop . . . . .	20
3.3.6 Anzahl Proben . . . . .	20
3.4 Überprüfung des Messverfahrens . . . . .	21
3.4.1 Reiner Messfehler . . . . .	21
3.4.2 Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler . . . . .	21
<b>4. Resultate</b> . . . . .	<b>22</b>
4.1 Abrasionsmessung. . . . .	22
4.1.1 Totale Summe der Abrasion . . . . .	22
4.1.2 Graphische Darstellung . . . . .	23
4.1.3 Statistische Auswertung. . . . .	25
4.2 Verteilung der Abrasion . . . . .	26
4.2.2 Statistische Auswertung. . . . .	27
4.2.3 Graphische Darstellung . . . . .	28
4.2.4 Berechnung der grössten durchschnittlichen Abrasionstiefe . . . . .	29
<b>5. Diskussion</b> . . . . .	<b>30</b>
5.1 Einleitung . . . . .	30
5.1.2 Ätiologie . . . . .	30
5.1.3 Epidemiologie . . . . .	31
5.2 Material und Methoden . . . . .	32
5.2.1 Materialien . . . . .	32
5.2.1.1 Zahnmaterial, Aufbereitung und Lagerung der Zähne . . . . .	32

5.2.1.2 Slurry . . . . .	.32
5.2.1.3 Elektrische Zahnbürsten . . . . .	.33
5.2.2 Bürstmaschine . . . . .	.33
5.2.2.1 Apparatur . . . . .	.33
5.2.2.2 Ausrichtung der Bürstenköpfe . . . . .	.34
5.2.3 Untersuchungsmethoden . . . . .	.34
5.2.3.1 Vermessung der Zähne . . . . .	.34
5.2.3.2 Volumenberechnungen . . . . .	.35
5.2.3.3 Bürstdauer . . . . .	.35
5.2.4 Überprüfung des Messverfahrens . . . . .	.35
5.2.4.1 Reiner Messfehler . . . . .	.35
5.2.4.2 Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler . . . . .	.35
5.3. Resultate . . . . .	.36
5.3.1 Statistische Auswertung . . . . .	.36
5.3.2 Verteilung der Abrasion . . . . .	.37
5.3.3 Grösste durchschnittliche Abrasionstiefe . . . . .	.37
<b>6. Schlussfolgerungen . . . . .</b>	<b>.38</b>
<b>7. Anhang . . . . .</b>	<b>.39</b>
7.1 Tabellarische Zusammenstellung . . . . .	.39
7.1.1 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 100 g Auflagegewicht	39
7.1.2 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 175 g Auflagegewicht	40
7.1.3 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 250 g Auflagegewicht	41
<b>8. Herstellerliste . . . . .</b>	<b>.42</b>
<b>9. Bibliographie. . . . .</b>	<b>.43</b>
<b>10. Curriculum Vitae . . . . .</b>	<b>.46</b>

# 1. Zusammenfassung

Keilförmige Defekte haben eine multifaktorielle Ätiologie. Neben Erosion und mechanischem Stress ist die Abrasion durch Zahnbürsten ein wichtiger Faktor in deren Entstehung und Progression.

Die vorliegende Arbeit untersuchte, ob zwei unterschiedliche Bürstenkopfbewegungen elektrischer Zahnbürstenmodelle (rotierend/oszillierend versus wischend) einen vorbestehenden keilförmigen Defekt unterschiedlich vertiefen.

Als Proben wurden Rinderzähne verwendet, bei denen an der Schmelz-Zement-Grenze ein standardisierter keilförmiger Defekt präpariert wurde. Die Rinderzähne wurden während 180 Min. mit Sonicare Optiva 1996/1997 mit dem Bürstenkopf Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 und Braun Oral B D9 1996/1997 mit dem Bürstenkopf Braun FlexiSoft EB 17-4 bebürstet. Als Zahnpasta-Speichelersatz-Aufschlammung (Slurry) wurde eine Standardmischung mit RDA (relative Dentin Abrasion) 100 verwendet. Die Auflagekraft für die Zahnbürsten von 100g, 175g und 250g wurde mit Gewichten reguliert.

Die Abrasionsmessung erfolgte in einem 3-dimensionalen Scanner (3-DS).

Die Messungen ergaben eine absolute sowie relative Vertiefung der keilförmigen Defekte. Es konnte aber weder für die zwei verwendeten elektrischen Bürsten, noch für die gewählten Auflagegewichte signifikante ( $p < 0.05$ ) Unterschiede festgestellt werden.

## Abstract

The etiology of wedge-shaped cervical lesions is multifactorial. Factors involved in the initiation and progression of such lesions are erosion, attrition, mechanical load and abrasion by toothbrushes and toothpastes.

The present work investigated whether two different types of brush movements, i.e. rotating/oscillating and sweeping movements, performed by powered toothbrushes would differently enlarge preexisting wedge-shaped cervical lesions.

Standardised wedge-shaped cervical lesions were prepared in extracted bovine mandibular incisors. They were then brushed for 180 minutes using the powered toothbrushes Sonicare Optiva 1996/97 with brushhead Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 and Braun Oral B D9 1996/97 with brushhead Braun FlexiSoft EB 17-4, respectively, in an automated brushing machine. A standard abrasive slurry with a known RDA-value of 100 and head loads of 100, 175 and 250 grams, respectively, were used. Abrasion was measured using a threedimensional scanning device. Brushing enlarged the wedge-shaped cervical lesions both in relative and in absolute terms. No significant differences were found, however, between the two different brush movements, nor between the three headloads.

## **2. Einleitung**

### **2.1 Ziel der Arbeit**

Die Häufigkeit der Zahnreinigung scheint einen direkten Einfluss auf die Entwicklung von keilförmigen Defekten zu haben (BERGSTROM & ELIASSON 1988, LEVITCH ET AL. 1994, LUSSI & SCHAFFNER 2000).

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Methode zu entwickeln, die es erlaubt, Veränderungen von keilförmigen Defekten durch das Gebürsten mit verschiedenen elektrischen Zahnbürsten zu vergleichen (rotierend/oszillierend versus wischende Bürstbewegungen). Ausmass und Verteilung des Zahnhartzsubstanzverlustes sollte quantifiziert werden.

## 2.2 Definition und Klassifikation

Nicht kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste werden in verschiedene Untergruppen aufgeteilt (IMFELD 1996):

Abrasion:	Mechanischer Prozess, fremde Objekte oder Substanzen sind involviert
Demastikaton:	Mechanische Interaktion zwischen den Zähnen und Nahrungsmitteln (Spezialfall der Abrasion)
Attrition:	Mechanischer Prozess bei Zahn-Zahn-Kontakt
Abfraktion:	Mechanischer Prozess bei Zahnbelastung
Erosion:	Chemisches Anätzen und Auflösen von Zahnhartsubstanz
Resorption:	Biologischer Abbau von Zahnhartsubstanz

Der keilförmige Defekt ist eine Läsion der Zahnhartsubstanz, die sich im cervicalen, meist buccalen/labialen Bereich der Zähne findet (ADDY ET AL. 1987A, ORCHARDSON & COLLINS 1987, BERGSTROM & ELIASSON 1988, LEVITCH ET AL. 1994). In der Literatur werden viele Synonyme verwendet: non-carious cervical lesion, wedge-shaped defect, „v“-shaped lesion, cervical abrasion, saucer-shaped defect.

Die Form und die Ausdehnung der Defekte kann sehr verschieden sein. Einige Autoren haben keilförmige Defekte beschrieben und verschiedene Klassifikationen vorgeschlagen (HONG FA-LIAN ET AL. 1988, KLIMM ET AL. 1990, LUSSI & SCHAFFNER 2000, BORCIC ET AL. 2004).

W. Klimm et al. (1990) teilten die Defekte nach Tiefe, Profil und Enfacekontour ein und erstellten somit für jeden Defekt einen dreistelligen Zahlencode. Hong Fa-lian (1988) teilt die Defekte anhand dreier Formtypen ein: concave, undercut concave, notch. Die Tiefe wurde mit shallow 0.1-0.5 mm, deep > 0.5 mm und pulp-exposed charakterisiert. Lussi und Schaffner (2000) verwendeten für die epidemiologischen Untersuchungen die Grade 0, 1, 2. Sie unterschieden nur die Defekttiefe (Kein Defekt, < 1 mm, > 1 mm) und nicht die Form. Borcic et al. bedienten sich für ihre Untersuchungen des Tooth wear index (TWI). (Tab. 1).



Tab. 1a,b,c,d,: Einteilungsmöglichkeiten keilförmiger Defekte

1a: Einteilung nach W. Klimm et al. (1990)

1. Tiefe:	1	flach (< 1 mm)
	2	tief ( $\geq$ 1mm)
2. Profil:	1	linear
	2	eckig
	3	halbrund
3. Enfacekontur:	1	linienförmig
	2	sichelförmig
	3	halbmondförmig
	4	ellipsenförmig
	5	bandförmig
	6	unregelmässig

1b: Einteilung nach Hong Fa-lian et al. (1988)

Form:	C :	concave
	UC:	undercut concave
	N :	notch
Tiefe:	S :	shallow (0.1 - 0.5 mm)
	D :	deep (> 0.5 mm)
	PE:	pulp-exposed

1c: Einteilung nach Lussi und Schaffner (2000)

Grad 0:	kein Defekt
Grad 1:	Defekt < 1 mm gemessen von der Originalkontur des Zahnes; schwache Abrasion
Grad 2:	Defekt > 1 mm gemessen von der Originalkontur des Zahnes; schwere Abrasion

1d: Tooth wear index / Einteilung nach Borcic et al. (2004)

0:	keine Konturabweichung
1:	minimaler Konturverlust
2:	Defekt < 1 mm tief
3:	Defekt 1 - 2 mm tief
4:	Defekt > 2 mm tief, oder Pulpaexposition, oder Exposition von Sekundärdentin

## 2.3 Ätiologie

Die Ursache der keilförmigen Defekte ist multifaktoriell:

Abrasion, Erosion und mechanischer Stress (Abfraktionen) sind die drei Hauptursachen. Auch die unsachgemäße Anwendung von Hygienemitteln wurde in Einzelfällen als Ursache identifiziert (GOW & KELLEHER 2003). Dem cervicalen Zahnhartsubstanzenverlust geht fast immer eine Gingivarezession voraus, da der Schmelz um ein Vielfaches resistenter gegenüber mechanischem Abrieb ist als das Zement oder das Dentin. Aus verschiedenen Untersuchungen geht hervor, dass der rein mechanische Abrieb von Zahnpasta und Bürste nicht ausreicht, um zu Lebzeiten einen klinisch relevanten Verlust an Zahnschmelz zu erleiden. Eine Kombination mit Erosion, sei es auf Grund extrinsischer (diätetischer) oder intrinsischer Säuren (Magensaft), oder deren Kombination, scheint unerlässlich, um das klinische Bild eines keilförmigen Defektes hervorzurufen (LUSSI ET AL. 1993, OSBORNE-SMITH ET AL. 1999, LUSSI & SCHAFFNER 2000, ATTIN ET AL. 2001, AZZOPARDI ET AL. 2001, HUNTER ET AL. 2002, ACADEMY OF OPERATIVE DENTISTRY 2003, ADDY 2003, HOOPER ET AL. 2003, LIPPERT ET AL. 2004, ADDY 2005). Bei Personen mit einer tieferen Pufferkapazität des Speichels oder einer niederen, unstimulierten Speichelflussrate wurden ebenfalls mehr keilförmige Defekte gefunden, weil diese Personen ein erhöhtes Erosionsrisiko aufweisen, was den mechanischen Abtrag von Zahnhartsubstanz begünstigt (JÄRVINEN ET AL. 1991, LUSSI & SCHAFFNER 2000).

Ein Zusammenhang zwischen einer bestimmten Zahnbürstmethode und dem Entstehen von keilförmigen Defekten wurde nie bewiesen (HUNTER ET AL. 2002). Häufiges und ausdauerndes Zähnebürsten gilt jedoch als Risikofaktor (SANGNES 1967, SHEIHAM 1977, BERGSTROM & ELIASSON 1988, LUSSI & SCHAFFNER 2000). In einer Untersuchung hatten Litonjua et al. (2004) nur durch das Bebürsten der Halsregion von Zähnen keilförmige Defekte erzeugt.

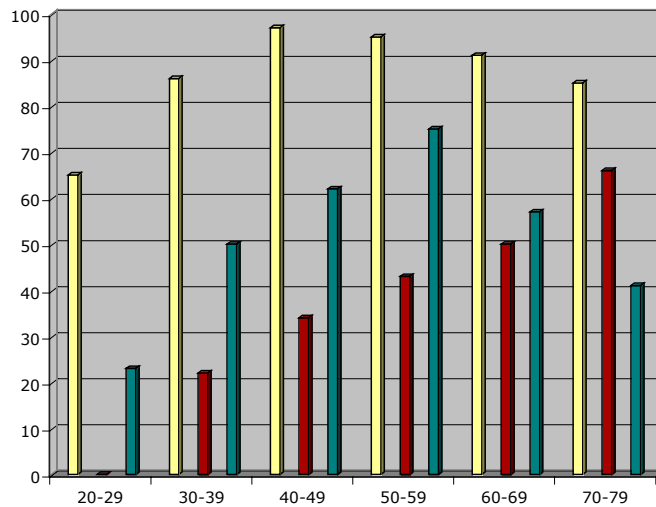
Über den Einfluss von mechanischem Stress auf die Entstehung von keilförmigen Defekten oder deren Progression herrscht Uneinigkeit (ACADEMY OF OPERATIVE DENTISTRY 2003, GRIPPO ET AL. 2004, KUROSU ET AL. 2000; LEE & EAKLE 1996, LUSSI ET AL. 1993, OSBORNE-SMITH ET AL. 1999, PINTADO ET AL. 2000, SPRANGER 1995). Die Aussprengung von Schmelzanteilen an der Schmelzzementgrenze scheint vor allem initial von Bedeutung zu sein. Allerdings ist es einer Gruppe gelungen, nur mit mechanischem Stress in einem sauren Medium einen Zahnhartsubstanzenverlust zu erzeugen, der Ähnlichkeiten mit einem keilförmigen Defekt hat (WHITEHEAD ET AL. 1999). Pintado et al. (2000) hatten, allerdings nur bei einem Individuum, den Zusammenhang von occlusalem Zahnhartsubstanzenverschleiss und keilförmigen Defekten gezeigt.

Tab. 2: Faktoren die, die mit keilförmigen Defekten assoziiert sind

- Mechanischer Stress (Abfraktionen)
- Erosion
- Abrasion
- Niedrige Pufferkapazität des Speichels
- Niedrige unstimulierte Speichelflussrate

## 2.4 Epidemiologie

1988 fanden Bergström et al. in Schweden bei 21 bis 60 Jährigen in 85% mindestens einen oberflächlichen keilförmigen Defekt, in 22% tiefe.



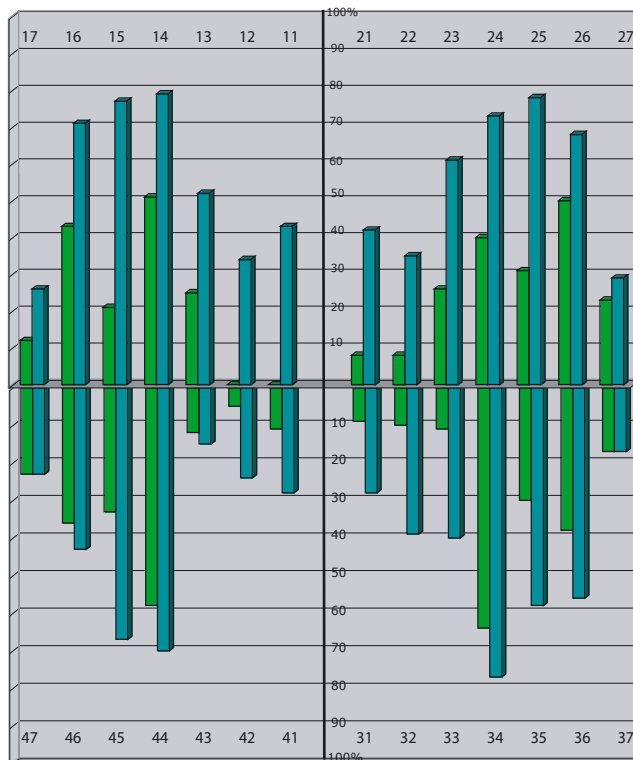
In der Schweiz im Kanton Zürich hatte jeder Erwachsene im Schnitt 2.8 keilförmige Defekte, wobei die höchste Anzahl bei den 40 bis 49 Jährigen mit 4.1 Defekten lag (Abb. 1) (MENGHINI ET AL. 2002). Im Kanton Bern (CH) hatten 1987 11% der 26 bis 30 Jährigen und

Abb. 1:  
Prozentanteile der Bevölkerung mit Rezessionen (gelb), gefüllten oder kariösen Wurzeln (rot) und keilförmigen Defekten (grün). Aufgeteilt nach Altersgruppen. Erhebung 1999. (MENGHINI ET AL. 2002)

26% der 46–50 Jährigen mindestens einen keilförmigen Defekt. 1993 waren es sogar 19% bei der jüngeren Altersgruppe und 47% bei der Älteren (LUSSI & SCHAFFNER 2000, Abb 2).

In den USA (Iowa) wurde in Untersuchungen bei 56% und in Kroatien (Rijeka) bei 26% der Probanden mindestens ein keilförmiger Defekt gefunden (HAND ET AL. 1986, BORCIC ET AL. 2004).

Bei allen Untersuchungen waren die Defekte vor allem im Bereich der Eckzähne bis zum 1. Molar zu finden. Die Prämolaren sind dabei am häufigsten und stärksten betreffen.



Oft wurden links mehr Defekte gefunden, was auf die Überzahl der Rechtshänder zurückgeführt wurde (SANGNES 1967, BOITEL 1979, ADDY ET AL. 1987A, OSBORNE-SMITH ET AL. 1999). Untersuchungen haben oft eine unterschiedliche Prävalenz von keilförmigen Defekten bei Männern und Frauen festgestellt, die Ergebnisse waren jedoch widersprüchlich (SANGNES 1967, BERGSTROM & ELIASSON 1988).

Die Häufigkeit der keilförmigen Defekte ist auffallend mit dem Al-

Abb. 2:  
Aufsplittung von keilförmigen Defekten aller Grössen auf die einzelnen Zähne (Nummern). Hellgrün: Altersgruppe 25 bis 30 Jährige; Dunkelgrün: Altersgruppe 46 bis 50 Jährige. Vertikale Säulen repräsentieren die Prozente der betroffenen Zähne. Erhebung 1993. (LUSSI & SCHAFFNER 2000)

ter korreliert, was auf die Dauer der auslösenden und vorantreibenden Faktoren zurückgeführt wird (BERGSTROM & ELIASSON 1988, LEVITCH ET AL. 1994, LUSSI & SCHAFFNER 2000, OSBORNE-SMITH ET AL. 1999).

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Materialien

#### 3.1.1 Zahnmaterial

Es wurden untere zentrale bleibende Schneidezähne von zweieinhalb bis drei Jahre alten Rindern verwendet („Zweischaufler“).

#### 3.1.2 Aufbereitung und Lagerung der Zähne

Die Zähne wurden im Labor aus Rinderunterkiefern vom Schlachthof extrahiert, die Pulpa extirpiert und das Restgewebe und Zementanteile mit Skalpell und Gingivabeil entfernt. Die Zähne wurden in Frischwasser, das mindestens zweimal wöchentlich gewechselt wurde, im Kühlschrank gelagert.

Mit einer Pedemax Schleifmaschine<sup>1</sup>, bestückt mit 180 Grit Schleifpapier<sup>1</sup> (entspricht Korngrösse von  $76\mu\text{m}$ ), wurden Zahnproben hergestellt (B x L x H: 7 x 17 x 7.2 mm; davon Schmelzanteil: 7.5 mm).

Damit das Zement, welches bei Rindern auch den Schmelz bedeckt, sicher von der Zahnoberfläche entfernt war, wurden diese mit Disks<sup>2</sup> je 2 Min. bei 1500 U/Min. und 25-45g Druck poliert (MÖSNER 1997).

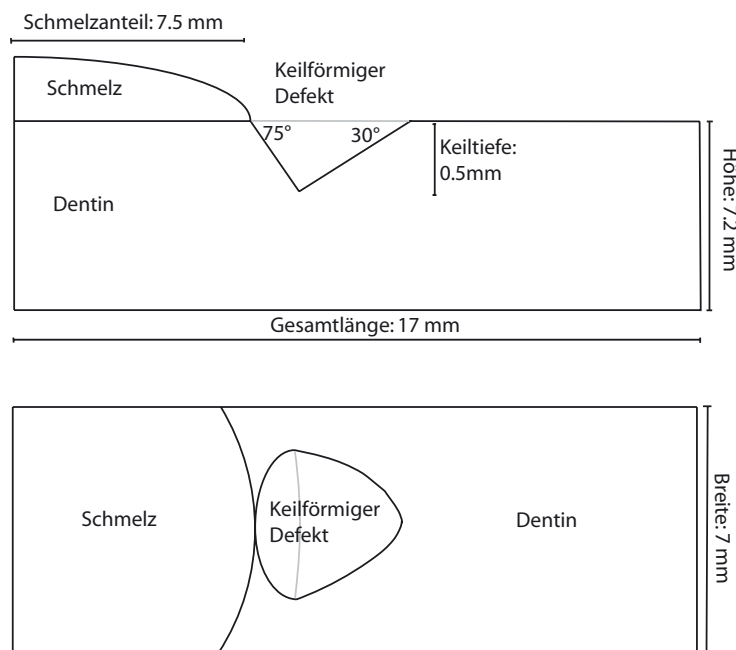


Abb. 3: Schema eines präparierten Rinderzahnes im Querschnitt und Aufsicht

Die keilförmigen Defekte wurden mit einer Fräsung simuliert (Abb. 3): Jeder Zahn wurde in einer eigens dafür konstruierten Schablone<sup>3</sup> fixiert. Diese Schablone ermöglicht es, die Zähne in einem Winkel von  $15^\circ$  an den Schleifkörper heranzuführen (Abb. 4). In einer Fräsmaschine (EMCO FB-2<sup>4</sup>) wurde ein Diamantschleifkörper<sup>5</sup> eingespannt. Der Schleifkörper ist zylindrisch, 5 mm stark, 42 mm lang und weist eine um  $15^\circ$  abgeflachte Spitze auf. Die vorderen 8 mm sind mit 40

$\mu\text{m}$  Korngrösse diamantiert (Abb. 5). Die Zähne wurden nach Heranführen der Schleifkörperkante an die Schmelz-Zement-Grenze um 0.5 mm Richtung Diamant verschoben. So ergaben sich keilförmige Defekte mit  $30^\circ$ - und  $75^\circ$ -Abhängen zur Zahnachse und 0.5 mm Tiefe. Während dem Fräsvorgang wurde dem mit 1100U/min rotierenden Schleifkörper mit einem Pinsel Wasser zugeführt.



Abb. 4:  
Bohrfutter der Fräsmaschine EMCO FB-2 mit eingespanntem Schleifkörper und einem in der Halterung eingespannten Rinderzahn zum Fräsen des keilförmigen Defektes

Um später eine bessere Verankerung in der Einbettmasse zu erlangen, wurden die Zähne mit einer Aderendhülse 2.5 mm<sup>2</sup> an der Unterseite versehen. Dazu wurde mit einem Rosenbohrer mit Wasserkühlung auf der Unterseite ein 1.5 mm grosses Loch gebohrt. Die Aderendhülse wurde mit Syntac classic und Heliobond<sup>6</sup> eingeklebt.

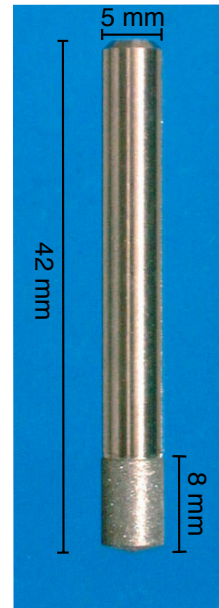


Abb. 5:  
Schleifkörper

### 3.1.3 Einbetten der Zähne

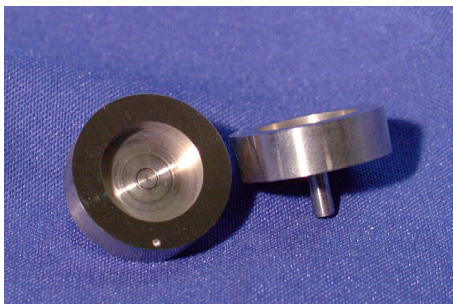


Abb. 6:  
Probenträger



Abb. 7:  
Zahn mit Aderendhülse

Die Zähne wurden in Probenträgern<sup>3</sup> zunächst mit Knetmasse in die gewünschte Position gebracht und anschliessend mit Einbettmasse (Paladur<sup>7</sup>) fixiert (Abb. 6-9). Um einer Austrocknung der Zahnoberfläche vorzubeugen, wurden sie mit einer feuchten Serviette bedeckt. Danach wurden die Proben einzeln in 15 ml Frischwasser im Kühlschrank gelagert. Das Wasser wurde zweimal wöchentlich erneuert. Vor der ersten Messung waren die Proben mindestens 7 Tage im Wasser, um eine allfällige Quellung der Einbettmasse während der Versuchszeit auszuschliessen (ISO 1567, Typ II Kl. 1; CE 0044).



Abb. 8:  
Zahn mit Knetmasse in Probenträger positioniert

Um die eingebetteten Zähne in der Bürstmaschine (ZBM 5<sup>3</sup>) in einer definierten Position zu fixieren und um die Anatomie einer Zahnreihe nachzubilden, wurden die eingebetteten Zähne in Schiffchen<sup>3</sup> eingebracht. Die mit einer Bodenplatte versehene Schiffchen ermöglichten es, den



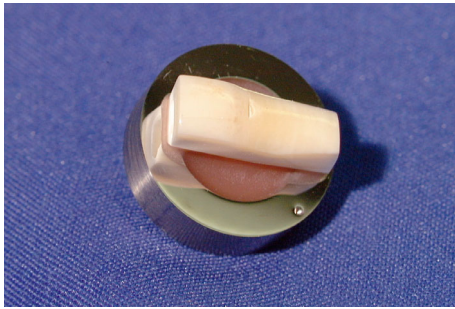


Abb. 9:  
Zahn mit Palatur definitiv fixiert

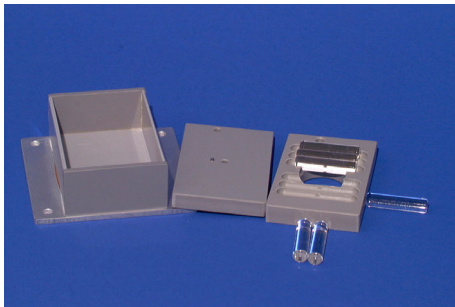


Abb. 10:  
Schiffchen zerlegt

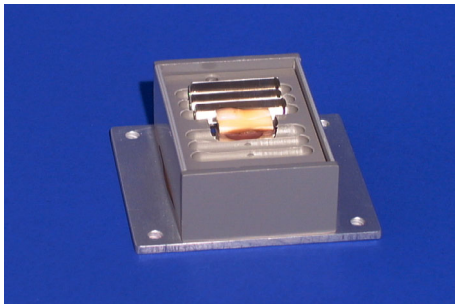
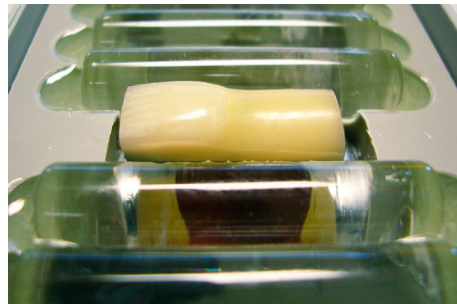


Abb. 11:  
Schiffchen mit Rinderzahn (die vorderen Glasstäbe sind entfernt)

Probenträger mit einer Bohrung und einem exzentrischen Stift zu reponieren. Darüber konnte eine Maske mit 6 Glasstäbchen von 7 mm Durchmesser gestülpt werden, die zentral eine Öffnung in der Grösse des präparierten Zahnes hatte (Abb. 10-12). In der Bürstmaschine wurde der Rand des Schiffchens mit Klebeband erhöht, um als Reservoir für die Zahnpasta-Speichel-Ersatz-Aufschlammung (Slurry) zu dienen.

Abb. 12:  
Detail des Rinderzahnes im Schiffchen



### 3.1.4 Slurry

Als Zahnpasta-Speichel-Ersatz-Aufschlammung (Slurry) wurde folgende Rezeptur mit RDA 100 (ISO 11609, 1995-12-15, HEFFERREN 1976) verwendet:

25g	Calciumpyrophosphat (9.25g Sigma/15.75 Budenheim)
12.5g	Glycerin
49.5g	entionisiertes Wasser
0.125g	Natrosol
12.875g	NaHCO <sub>3</sub> 1.62%
49.5g	Speichelersatzlösung

Die Mischung wurde jeweils direkt vor der Anwendung während 5 Min. mit einem Mixer (Ultra-Turrax<sup>8</sup>) mit 7500 U/min homogenisiert (MÖSNER 1997).

Pro Zahn wurden jeweils 20 ml der Mischung pro Stunde verwendet.

### 3.1.5 Elektrische Zahnbürsten

Getestet wurden Sonicare Optiva 1996/1997 mit dem Bürstenkopf Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 (Abb. 13a, b, c) und Braun Oral B D9 1996/1997 mit dem Bürstenkopf Braun FlexiSoft EB 17-4 (Abb. 14a, b, c).

Es wurden bewusst alte Zahnbürstenmodelle gewählt, da diese an eine externe Spannungsquelle angeschlossen werden konnten. Dies ermöglichte es, die Bürsten unabhängig vom eingebauten Timer (Modell Sonicare) und ohne Spannungsabfall des Akkumulators über längere Zeit zu betreiben. Als externe Spannung wurde 2.5 Volt gewählt.

Vor und nach dem Bürsten wurden Scans der Bürstenköpfe gemacht, um den Verschleiss der Borsten bei der Dauerbelastung von 180 Min. zu untersuchen. Aufgrund von Vorversuchen wurde ein Kopf für 180 Min Bürstdauer verwendet.

Abb 13a, b, c:

Bürstenkopf Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20

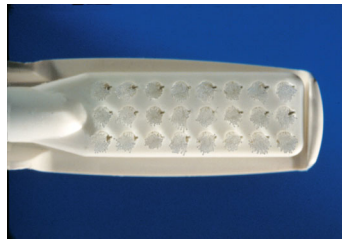
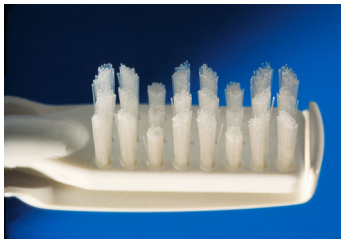
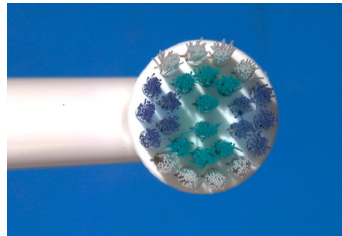
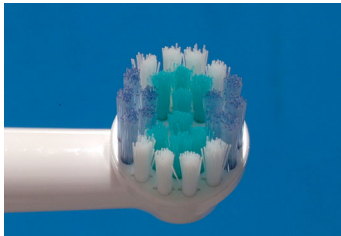


Abb. 14a, b, c:

Bürstenkopf Braun FlexiSoft EB 17-4



## 3.2 Bürstmaschine

### 3.2.1 Apparatur

Es wurde mit der Bürstmaschine ZBM 5<sup>3</sup> (Abb. 15) gearbeitet. Die Maschine bietet 6 parallele Bürstplätze. Die Lage der Bürsten kann frei gewählt werden. Für diese Versuche wurde eine Schräglage von 10° zur Horizontalen gewählt. So ergab sich ein schräg auslaufendes Slurry-Reservoir, das die Zähne nur leicht bedeckte und in das der Bürstenkopf bei jeder Auslenkung der Bürste getaucht wurde. Die Bürsten wurden parallel zur simulierten Zahnreihe hin- und hergeführt (entspricht horizontaler Bürsttechnik). Die horizontale Bewegung der Bürsten betrug 35 mm mit einer Frequenz von 16 Bewegungen pro Minute (0.266 Hz). Es wurde darauf geachtet, dass die Wendepunkte der Bürstenköpfe jeweils ausserhalb des Zahnes lagen. Dabei war der Bürstenkopf immer



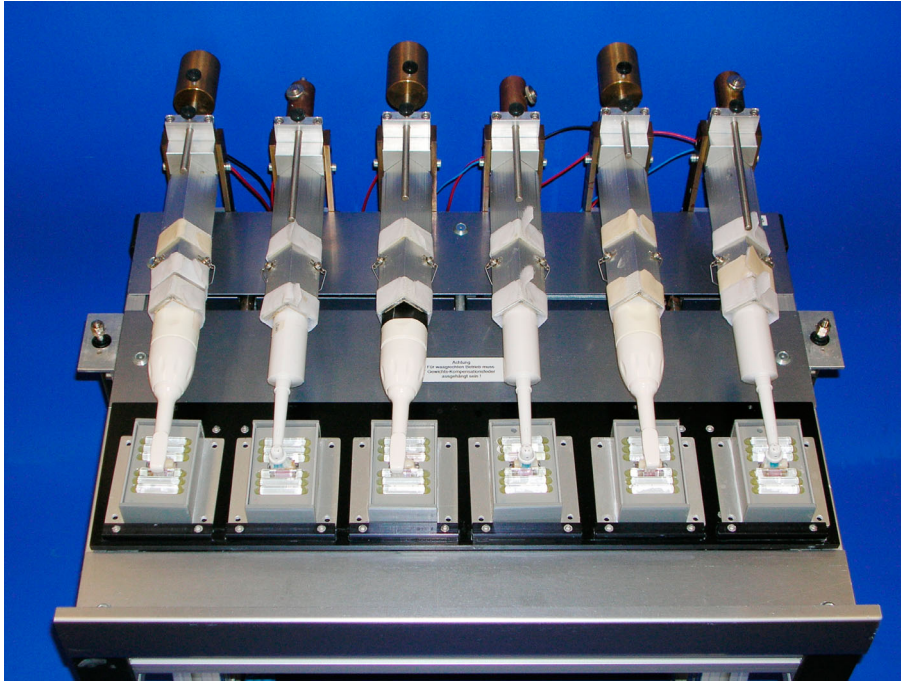


Abb. 15:  
Zahnbürstmaschine ZBM 5 mit montierten Bürsten und Schiffchen mit Zahnproben  
(ohne Slurry)

von den Glasstäben der Schiffchenmaske unterstützt.

Das Auflagegewicht der Bürsten (100g, 175g und 250g) wurde mit verstellbaren Gewichten reguliert und mit einer Federwaage in der Mitte des Bürstenkopfes auf  $\pm 5g$  genau eingestellt.

### 3.2.2 Ausrichtung der Bürstenköpfe

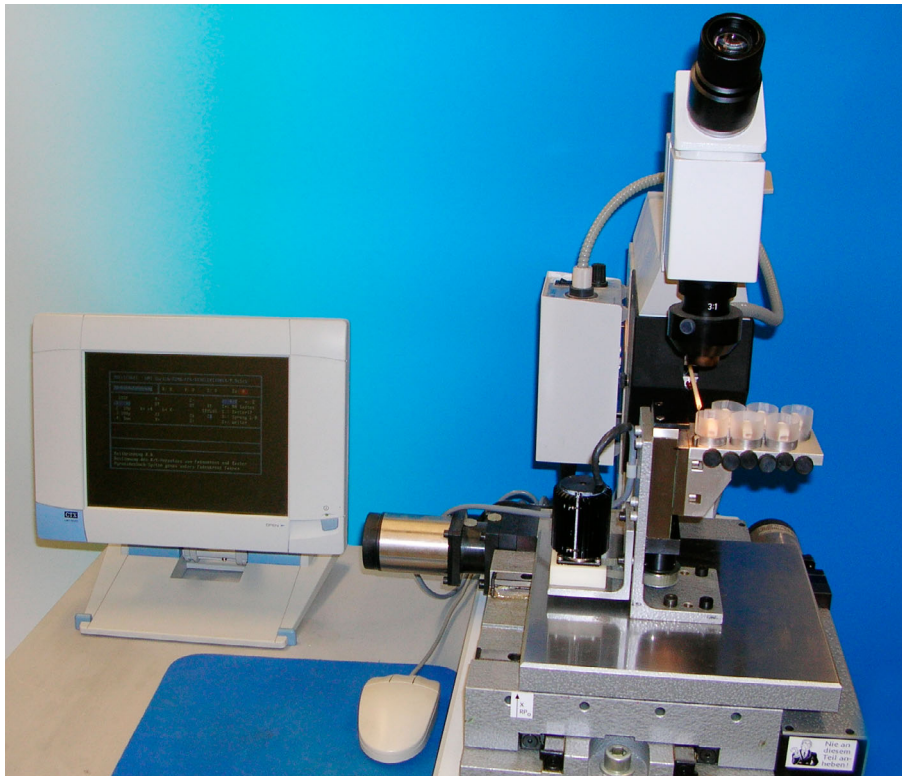
Die Bürsten wurden, wie im Mund, quer zu Zahnachse geführt. Die Bürstenköpfe wurden in der Längsrichtung der Bürste auf die Mitte des keilförmigen Defektes ausgerichtet.

In der Querrichtung wurde der Sonicare-Advance-Kopf mit einer Borstenbüschelreihe auf den Schmelz, mit zwei Reihen auf das Dentin aufgesetzt. Der Braun FlexiSoft-Kopf wurde mit einer Borstenbüschelreihe auf den Schmelz und mit dem Rest des Kopfes auf das Dentin ausgerichtet.

## 3.3 Untersuchungsmethoden

### 3.3.1 Vermessung der Zähne

Alle Messungen erfolgten in einem 3-dimensionalen Scanner (3-DS<sup>3</sup>) (Abb. 16). Er besteht aus einem Computer mit Monitor, einem Messtaster und einem Probentisch. Der Tisch kann mit 3 Schrittmotoren in den Achsen x y und z in  $1 \mu m$  Schritten bewegt werden. Die Proben werden mit einem Probenträger auf dem Tisch befestigt. Die Probenträger haben einen zentralen Stift und eine exzentrische Bohrung, die wiederum in einen Stift auf dem Probentisch passt. Mit dem eingebauten Mikroskop<sup>9</sup> mit integrierem Fadenkreuz kann bei der Initialmessung (i) die Position der Probe genau bestimmt werden, indem man das Fadenkreuz tangential an eine Präzisionsbohrung auf der Trägersoberfläche legt. Die Positionsdaten werden im Computer gespeichert und sind für weitere Messungen (a, b, c) genau reproduzierbar (KREJCI ET AL. 1994).



Die Abtastung der Probe erfolgt mittels der 3 Schrittmotoren, die die Probe in Kontakt mit dem Messtaster führen. Bei Kontakt mit dem Messtaster wird ein Stromkreis unterbrochen und die Position der Probe wird gespeichert. Die Auflösung beträgt  $1\text{ }\mu\text{m}$ .

Abb. 16:  
3-dimensionaler Scanner (3-DS) mit montierten Rinderzähnen mit Klebestreifen umklebt auf dem Probestisch

Das Messfeld des 3-DS ist quadratisch. Das Messquadrat betrug  $4 \times 4\text{ mm}$  mit einem Messpunkteraster von  $100\text{ }\mu\text{m}$  (1600 Messpunkte).

Das Messquadrat wurde so gelegt, dass sich die Mitte des dem Schmelz zugewandten Randes des keilförmigen Defektes  $1500\text{ }\mu\text{m}$  vom Diagonalschnittpunkt befand (Abb. 17). Die Abrasion wurde berechnet, indem nach genauer Überlagerung der Messtabellen die z - Werte der

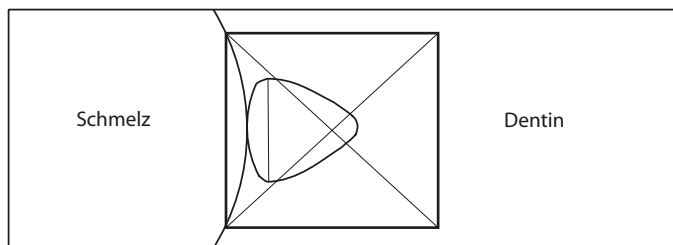


Abb. 17:  
Schematische Darstellung des Messquadrates von  $4 \times 4\text{ mm}$

bellen die z - Werte der Initialmessung (i) (Abb. 18) von den Folgemessungen (a, b) subtrahiert wurden.

Um während dem Messvorgang das Austrocknen der Rinderzähne zu vermeiden, wurden die Probenhalter mit einem Klebebandrand von  $16 \times 75\text{ mm}$  versehen und mit Wasser bedeckt.

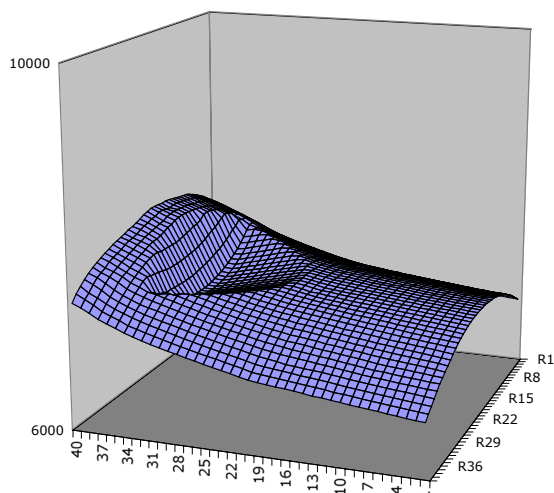


Abb. 18:  
Beispiel der graphischen Darstellung der Daten der Initialmessung der Zahnprobe Nr. 22

### 3.3.2 Datenauswertung

Aus den Wertetabellen (40 x 40 Differenzwerte) wurde die totale Summe der Abrasion und die Summe der Abrasion der höchsten 60 Werte (Platz 1 - 60 einer absteigenden ‚Rangliste‘ aller Werte) gebildet:

Totale Summe der Abrasion: Summe aller Werte (negative ‚falsche‘ Werte wurden addiert) multipliziert mit der Grundfläche des Messquadrates (16 mm<sup>2</sup>)

Summe der 60 höchsten Werte: Summe der 60 höchsten Werte multipliziert mit deren Grundfläche (60 x 100 x 100 μm = 0.6 mm<sup>2</sup>)

### 3.3.3 Platzzuordnung auf der Bürstmaschine

Es wurden immer je 3 Bürsten der 2 geprüften Elektrozahnbürsten auf die 6 Bürstplätze der Zahnbürstmaschine ZBM 5 verteilt und zeitgleich verwendet. Die Bürsten wurden mit 1, 2, 3 nummeriert. Die Platzzuweisungen der Sonicare Optiva (1, 2, 3) und Braun Oral B D9 (1, 2, 3) wurden randomisiert. Die 6 Schiffchen mit den Probezähnen wurden im Voraus den Zahnnummern zugeordnet. (Tab. 4-6 im Anhang)

### 3.3.4 Bürstdauer

Als Bürstdauer wurden 180 Min. gewählt. Ausgehend von einer durchschnittlichen Zahnputzdauer von 2 x 2 Min. pro Tag, entsprechen die experimentellen 180 Min. Bürstdauer der Bürstenexposition der Aussenseite eines Sextanten von rund 1,5 Jahren.

Berechnungsgrundlage:

Die durch die Bürstmaschine gegebene Bewegungslänge (Auslenkung) der Bürstenköpfe von 35 mm entspricht einer durchschnittlichen Sextantenlänge (7er bis 4er) (STÖCKLI & BEN-ZUR 1994). Da nur eine Seite der simulierten Zahnreihe geputzt wird, entspricht das 1/12 des Gebisses oder (2 x 2 Min.) / 12 = 20 Sek. Putzzeit pro Tag. 180 Min. (= 10800 Sek.) Test - Bürstzeit entsprechen also 540 Tagen Zähneputzen. 540 Tage sind 1 Jahr, 5 Monate und 25 Tage. (180 Min. : 4 Min. = 45 Tage; 45 Tage x 12 = 540 Tage = 1.5 Jahre)

Zur Bestimmung der Wirkung der Borstenbelastung wurden Scans der Bürstenköpfe gefertigt. Eine allfällige Deformation der Borsten konnte so nach Belastung mit dem jeweiligen Auflagegewicht und 180 Min. Laufzeit beurteilt werden. In Abb. 19a, b und 20a, b sind zwei Beispiele aufgeführt.

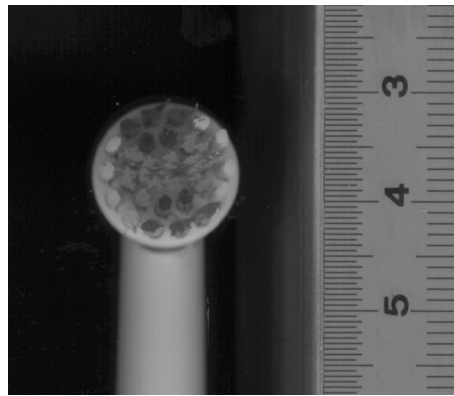
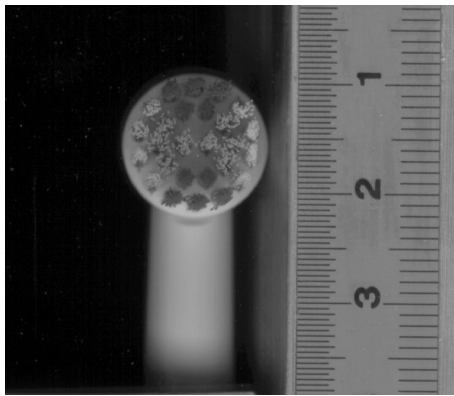


Abb. 19a, b:  
Beispiel eines Bürstentopfs des Braun FlexiSoft EB 17-4 Kopfes bei 180 Min. und 175g Belastung.  
li vor, re nach Belastung

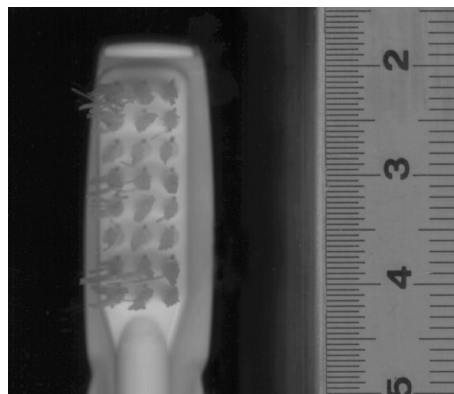
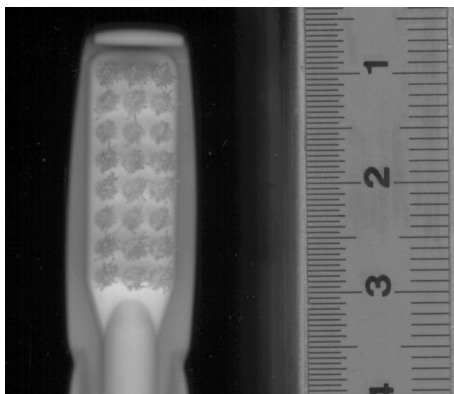


Abb. 20a, b:  
Beispiel eines Bürstentopfs des Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 Kopfes bei 180 Min. und 175g Belastung.  
li vor, re nach Belastung

### 3.3.5 Abformung und Rasterelektronenmikroskop

Um den Zahnhartsubstanzverlust bildlich darzustellen und die Zahnoberfläche zu betrachten, wurden einige Abformungen (President<sup>10</sup>) gefertigt und mit Staycast<sup>6</sup> ausgegossen. Die Ausgüsse wurden 30 Sek. besputtert<sup>11</sup>, was 1 nm Goldschichtstärke aufträgt, und im Rasterelektronenmikroskop<sup>12</sup> (REM) dargestellt.

### 3.3.6 Anzahl Proben

Pro Bürstentyp (Sonicare Optiva 1996/1997 mit dem Bürstentopf Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 und Braun Oral B D9 1996/1997 mit dem Bürstentopf Braun FlexiSoft EB 17-4) und Gewichtauflage (100g, 175g und 250g) wurden je 9 Rinderzähne gebürstet und ausgewertet. Die Versuchsreihe mit 250g Auflagegewicht wurde aufgrund der zu starken Borstendeformation jedoch nach je 3 Proben beendet.



### 3.4 Überprüfung des Messverfahrens

Da im 3-dimensionalen Scanner (3-DS) bis anhin noch nie Proben mit schrägen Ebenen bis 75° vermessen worden waren, wurde die Eignung des Scanners für diese Aufgabe überprüft. Es wurden der reine Messfehler und der Messfehler kombiniert mit dem Repositionsfehler ermittelt. Alle Messtabellen (40 x 40 Werte) wurden so geordnet, dass die 1. Zeile, die quer zur Zahnachse im Schmelz abgetastet wird, zuoberst war. Dann wurden alle Daten übereinander zu einer neuen Tabelle von 40 x 360 Werten geordnet. Diese neue Tabelle wurde statistisch ausgewertet.

#### 3.4.1 Reiner Messfehler

Zu diesem Zweck wurden 9 Proben zweimal vermessen ohne sie dazwischen zu berühren. Die Auswertung der Daten ist in Tab. 3 zusammengefasst.

#### 3.4.2 Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler

Hierzu wurden 9 x 1 Probe und 1 x 9 Proben doppelt vermessen. Die Proben wurden zwischen den Messungen vom Messgerät entfernt und im oben beschriebenen Prozedere reponiert. Die Resultate sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

<u>Reiner Messfehler</u>	<u>Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler</u> <u>9 x 1 Probe</u>	<u>Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler</u> <u>1 x 9 Proben</u>
MITTELWERT: 0.253 STABW: 2.927 MEDIAN: 0 SUMME / 9: 404.3	MITTELWERT: 0.798 STABW: 9.631 MEDIAN: 0 SUMME / 9: 1276	MITTELWERT: -1.08* STABW: 5.564 MEDIAN: -1 SUMME / 9: -1720*

Tab. 3:

Zusammenstellung der statistischen Auswertung des Messfehlers und des Repositionsfehlers kombiniert mit Messfehler in  $10^4 \mu\text{m}$ .

\* da der 3-dimensionale Scanner bezogen auf die Nullebene auch negative Messwerte ermittelt, kann das Ergebnis auch negativ sein

## 4. Resultate

### 4.1 Abrasionsmessung

#### 4.1.1 Totale Summe der Abrasion

Der Abrieb (Abrasion) der Zahnhartsubstanz (Differenz zweier Messungen im 3-dimensionalen Scanner) wurde in Diagrammen sowie dreidimensional dargestellt. Die Diagramme Abb. 21-26 zeigen den Verlust an Zahnhartsubstanz (Totale Summe der Abrasion) in  $10^4$  Kubikmikrometer ( $10^4 \mu\text{m}^3$ ), was dem Volumen von Pikolitern (pl) entspricht (Zahlen unter den Säulen in den Diagrammen Abb. 21-26). Die Genauigkeit beträgt  $\pm 1720 \mu\text{m}^3$  (Durchschnittlicher Volumenmessfehler aus Tab. 3)

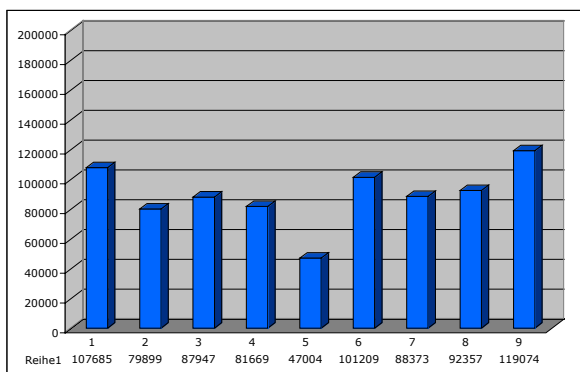


Abb. 21: Totale Summen der Abrasion Sonicare bei Auflagegewicht von 100g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

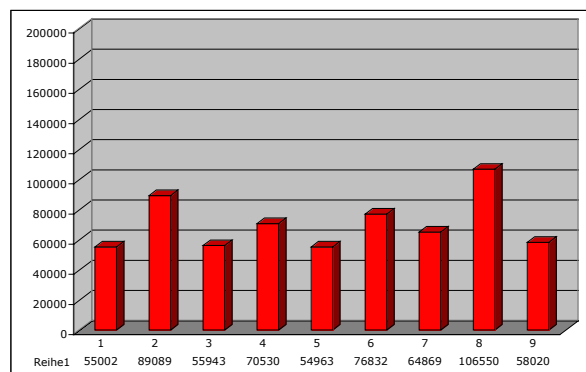


Abb. 22: Totale Summen der Abrasion Braun Oral B bei Auflagegewicht von 100g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

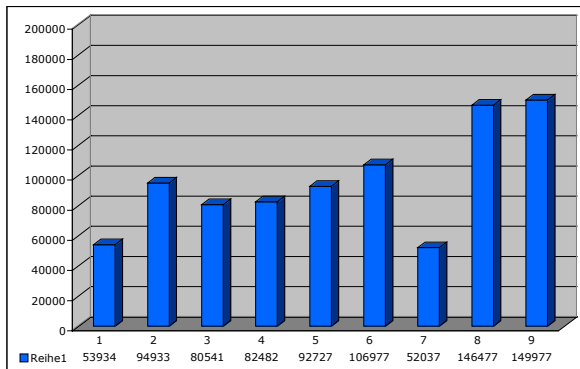


Abb. 23: Totale Summen der Abrasion Sonicare bei Auflagegewicht von 175g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

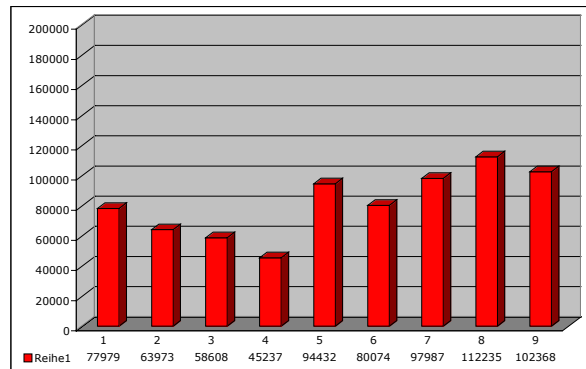


Abb. 24: Totale Summen der Abrasion Braun Oral B bei Auflagegewicht von 175g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

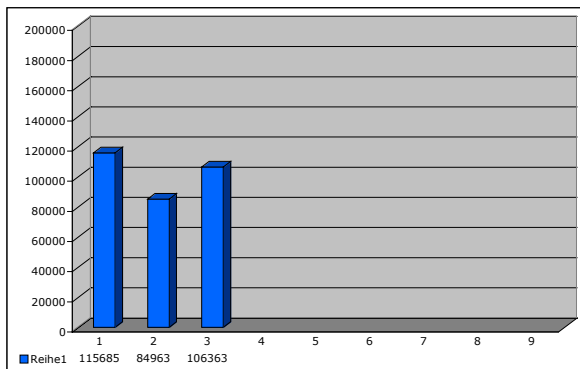


Abb. 25: Totale Summen der Abrasion Sonicare bei Auflagegewicht von 250g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

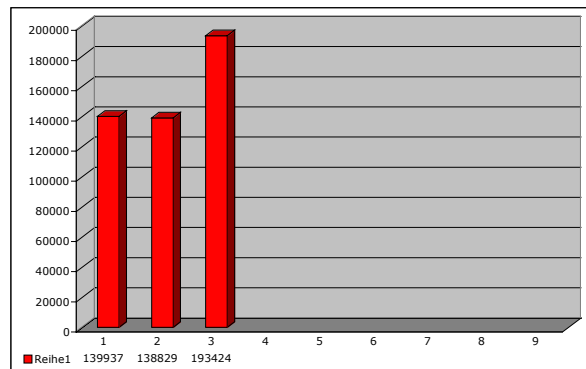


Abb. 26: Totale Summen der Abrasion Braun Oral B bei Auflagegewicht von 250g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

#### 4.1.2 Graphische Darstellung

Abb. 27-31:

Dreidimensionale Darstellung des Rinderzahnes Nr. 1 (Braun Oral B, Auflagegewicht 100g), vor und nach der Abrasion und Differenz. Rechts jeweils das dazugehörige REM-Bild. (Die Kerbe apikal des keilförmigen Defektes stammt von der Extraktionszange.)

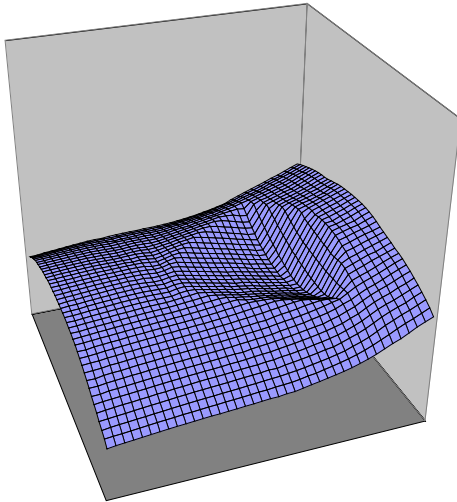


Abb. 27:  
Dreidimensionale Darstellung vor Abrasion

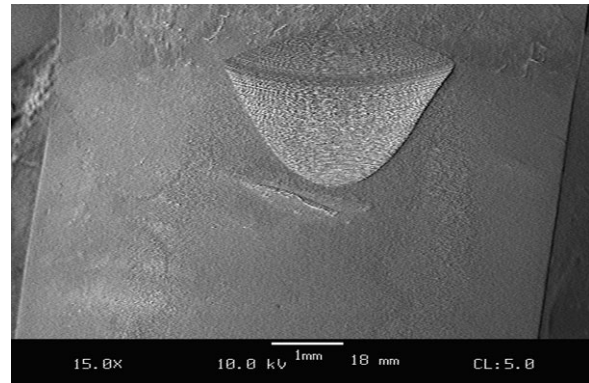


Abb. 28:  
REM-Bild vor Abrasion

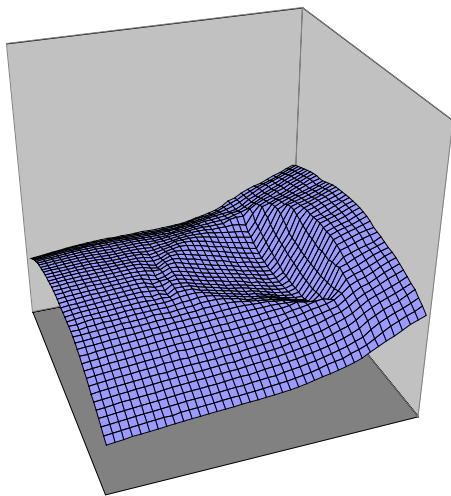


Abb. 29:  
Dreidimensionale Darstellung nach Abrasion

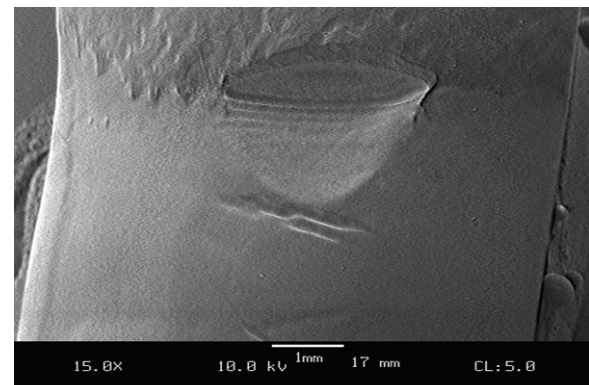


Abb. 30:  
REM-Bild nach Abrasion

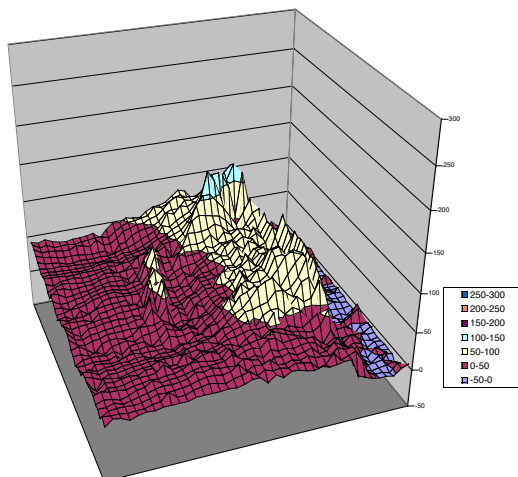


Abb. 31:  
Dreidimensionale Darstellung der Abrasionsdifferenz in  $\mu\text{m}$  (die Grafik ist überhöht)

Abb. 32-36:

Dreidimensionale Darstellung des Rinderzahnes Nr. 5 (Sonicare, Auflagegewicht 100g), vor und nach der Abrasion und Differenz. Rechts jeweils das dazugehörige REM-Bild

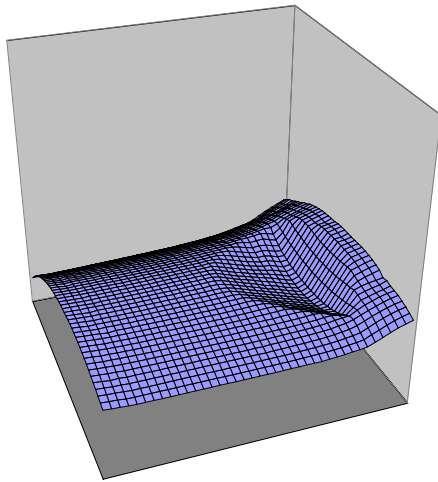


Abb. 32:  
Dreidimensionale Darstellung vor Abrasion

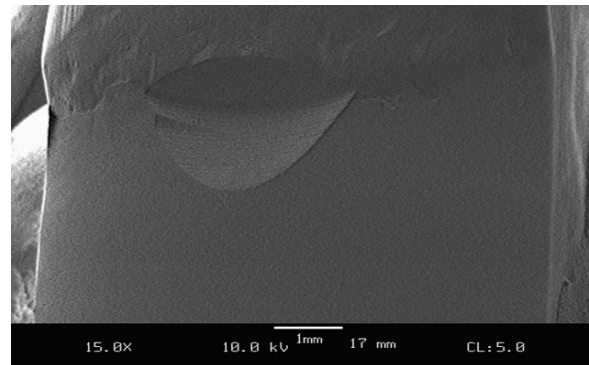


Abb. 33:  
REM-Bild vor Abrasion

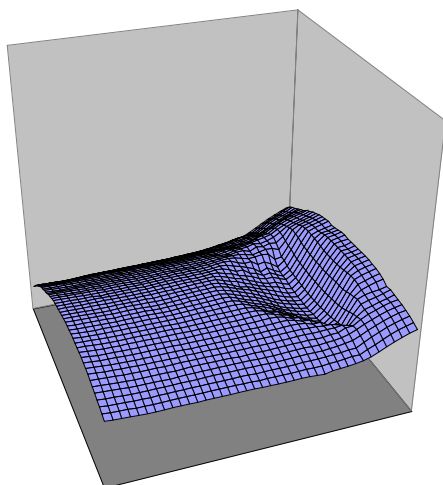


Abb. 34:  
Dreidimensionale Darstellung nach Abrasion

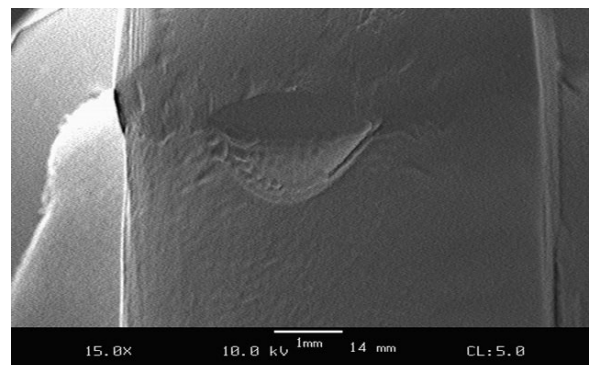


Abb. 35:  
REM-Bild nach Abrasion

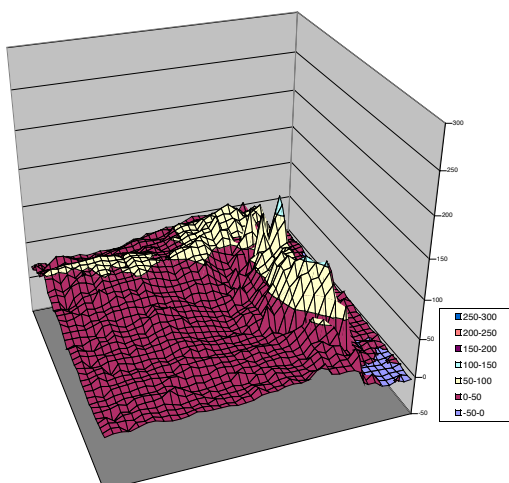


Abb. 36:  
Dreidimensionale Darstellung der Abrasionsdifferenz in  $\mu\text{m}$  (die Grafik ist überhöht)



### 4.1.3 Statistische Auswertung

In den Abbildungen 37 - 40 sind die Resultate mit Box Plot dargestellt. Gegenübergestellt wurden:

Abbildung 37            Totale Summe der Abrasion mit 100g Gewicht Sonicare versus Braun Oral B

Abbildung 38            Totale Summe der Abrasion mit 175g Gewicht Sonicare versus Braun Oral B

Abbildung 39            Totale Summe der Abrasion Sonicare 100g versus 175g

Abbildung 40            Totale Summe der Abrasion Braun Oral B 100g versus 175g

Auf eine Auswertung der Versuchsreihe mit Auflagegewicht 250g wurde wegen der geringen Anzahl Proben verzichtet.

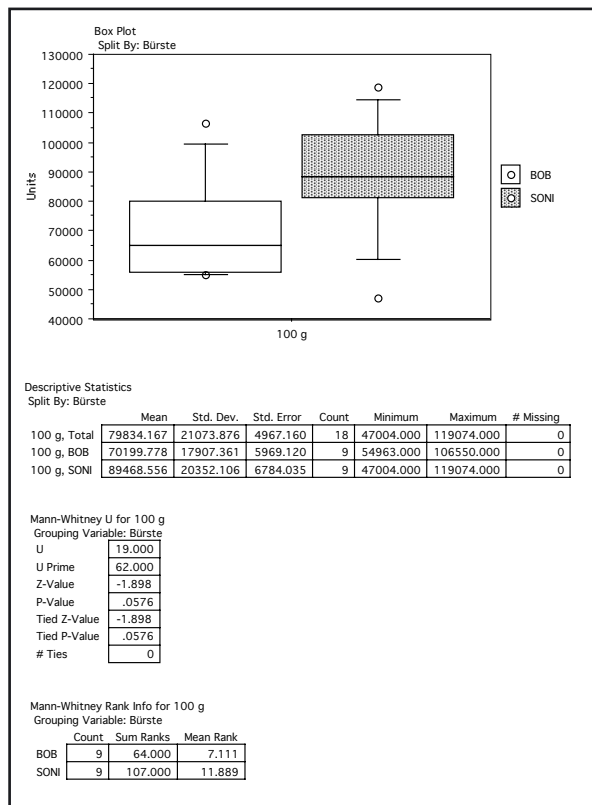


Abb 37:  
Statistische Auswertung der Totalen Summe der Abrasion: Auflagegewicht 100g: Sonicare (dunkel) vs Braun Oral B (hell) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signifikant ( $p>0.05$ ). Der Mann-Whitney U-Test wurde dem Unpaired t-Test vorgezogen, da die Verteilung der Resultate der Braun Oral B –Zahnbürste mit 100 g Auflagegewicht unsymmetrisch sind.

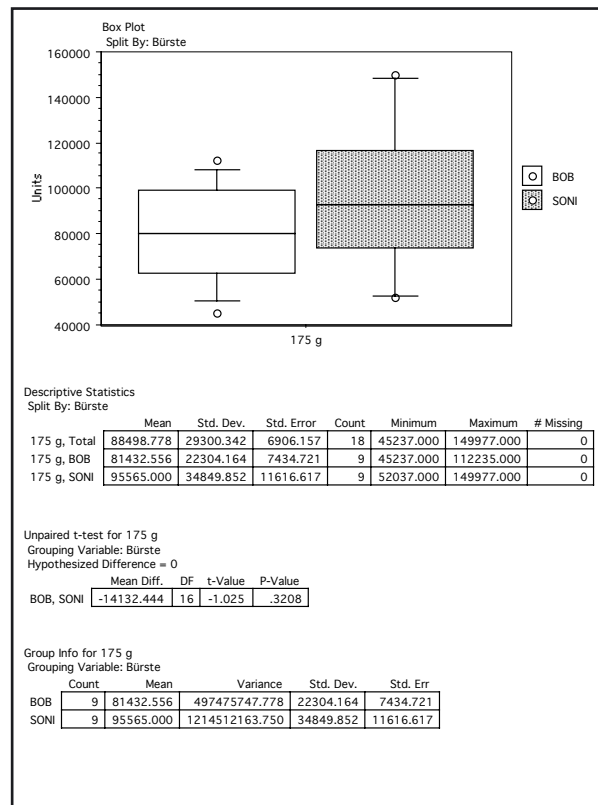


Abb 38:  
Statistische Auswertung der Totalen Summe der Abrasion: Auflagegewicht 175g: Sonicare (dunkel) vs Braun Oral B (hell) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signifikant ( $p>0.05$ )

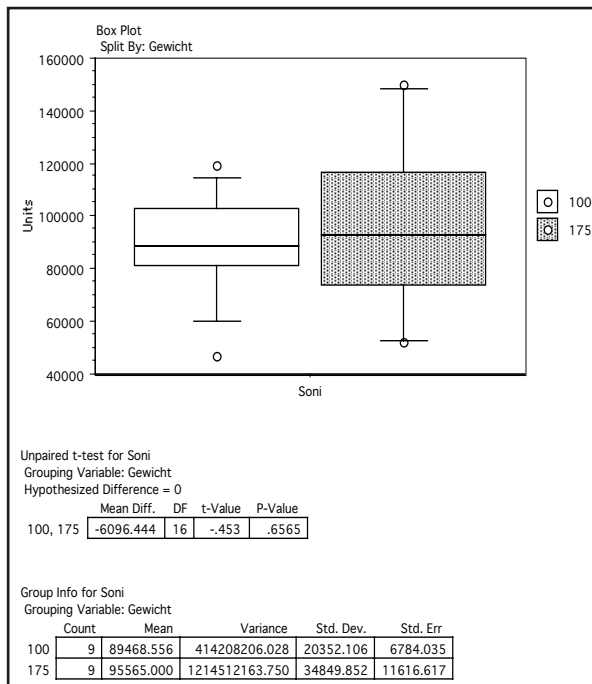


Abb. 39:  
Statistische Auswertung der Totalen Summe der Ab-  
rasion: Sonicare: Auflagegewicht 100g (hell) vs 175g  
(dunkel) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signifikant  
( $p > 0.05$ ).

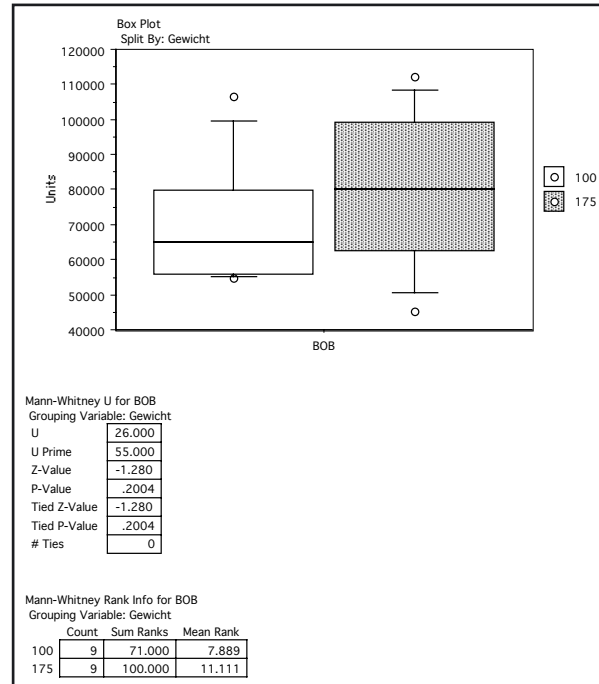


Abb. 40:  
Statistische Auswertung der Totalen Summe der Ab-  
rasion Braun Oral B: Auflagegewicht 100g (hell) vs  
175g (dunkel) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signi-  
fikant ( $p > 0.05$ ). Der Mann-Whitney U-Test wurde dem  
Unpaired t-Test vorgezogen, da die Verteilung der Re-  
sultate der Braun Oral B –Zahnbürste mit 100g Aufla-  
gegewicht unsymmetrisch sind.

## 4.2 Verteilung der Abrasion

### 4.2.1 Summe der höchsten 60 Werte

Um einen allfälligen unregelmässigen Abtrag der Zahnhartsubstanz (regionale, relative Vertiefung des präparierten keilförmigen Defektes) besser untersuchen zu können, wurden die einzelnen Messpunkte des Messfeldes nach den Werten absteigend geordnet. Aus den 60 grössten Werten (Platz 1 – 60 der ‚Rangliste‘ aller Werte) wurde wiederum die Summe ermittelt und statistisch ausgewertet (Summe der Höchsten 60 Werte).

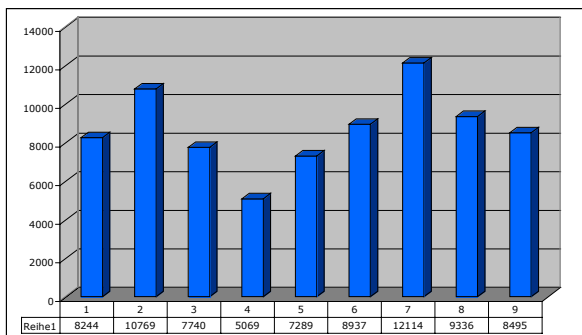


Abb. 41: Summen der Abrasion der 60 höchsten Werte: Sonicare bei Auflagegewicht von 100g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

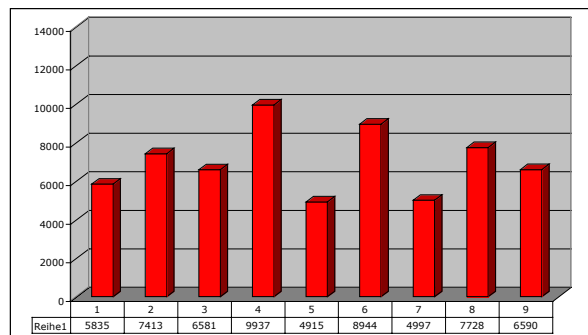


Abb. 42: Summen der Abrasion der 60 höchsten Werte: Braun Oral B bei Auflagegewicht von 100g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

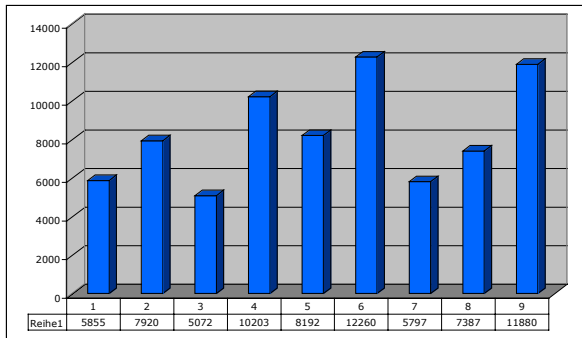


Abb. 43: Summen der Abrasion der 60 höchsten Werte: Sonicare bei Auflagegewicht von 175g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

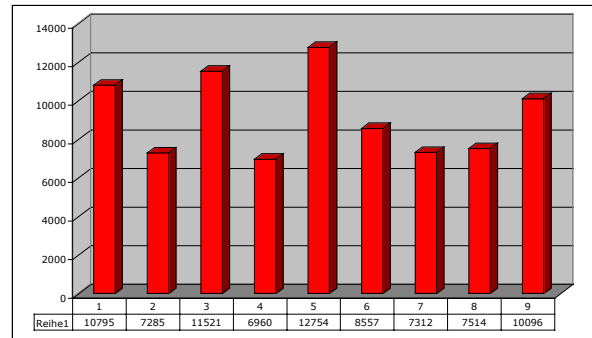


Abb. 44: Summen der Abrasion der 60 höchsten Werte: Braun Oral B bei Auflagegewicht von 175g in  $10^4 \mu\text{m}^3$

Die Werte der Versuchsreihe bei Auflagegewicht von 250g wurden nicht mehr berücksichtigt.

## 4.2.2 Statistische Auswertung

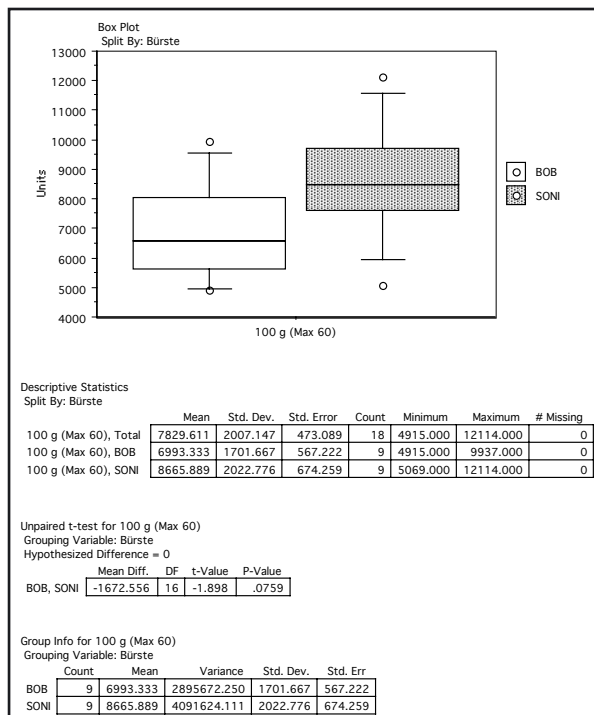


Abb 45:  
Statistische Auswertung der Summen der 60 höchsten Werte: Auflagegewicht 100g: Sonicare (dunkel) vs Braun Oral B (hell) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ )

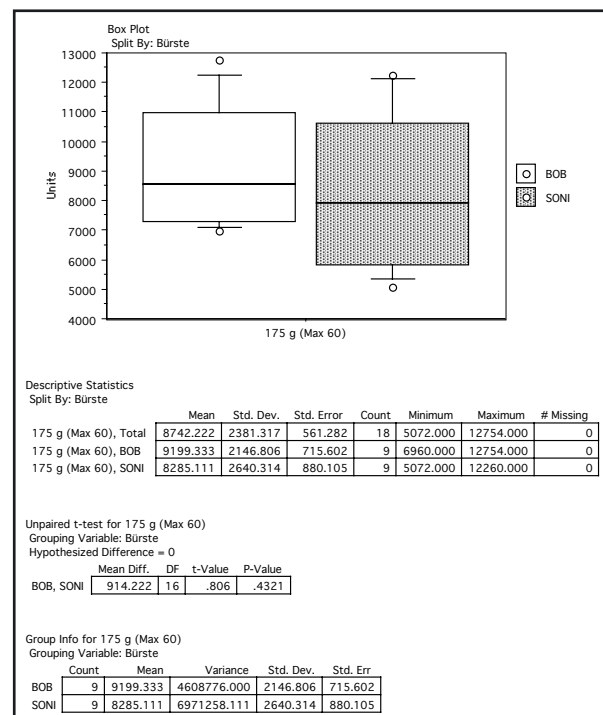


Abb 46:  
Statistische Auswertung der Summen der 60 höchsten Werte: Auflagegewicht 175g: Sonicare (dunkel) vs Braun Oral B (hell) in  $10^4 \mu\text{m}^3$ . Der P-Wert ist nicht signifikant ( $p > 0.05$ )

### 4.2.3 Graphische Darstellung

Abb. 47-50: Gegenüberstellung der Abrasionsdarstellung der totalen Summe der Ab-  
rasion (links) versus der 60 höchsten Werte (rechts) in  $\mu\text{m}$ .

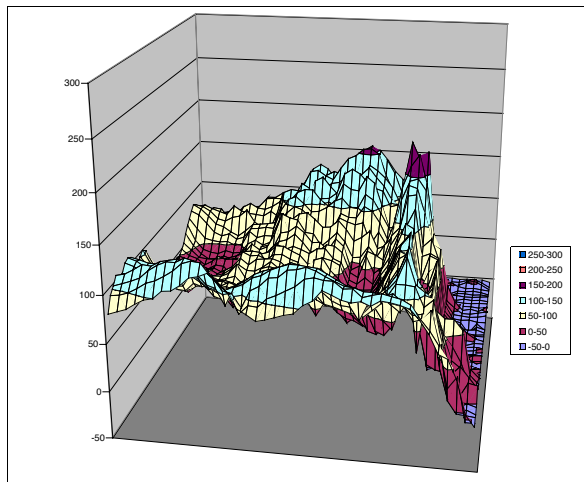


Abb. 47: Rinderzahn Nr. 2B (Sonicare, Auflagegewicht 100g); graphische Darstellung der Verteilung der totalen Abrasion

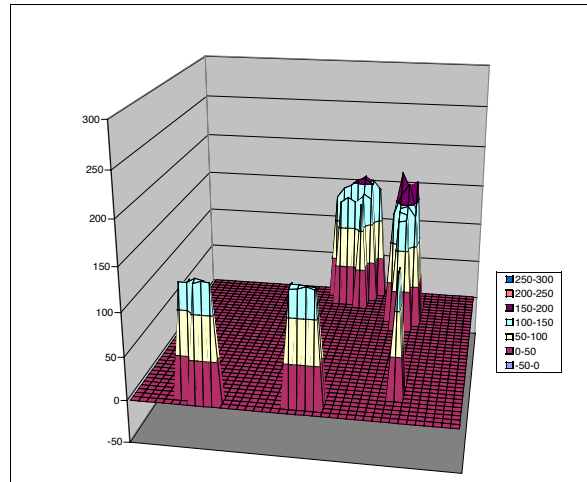


Abb. 48: Rinderzahn Nr. 2B (Sonicare, Auflagegewicht 100g); graphische Darstellung der Verteilung der 60 höchsten Werte

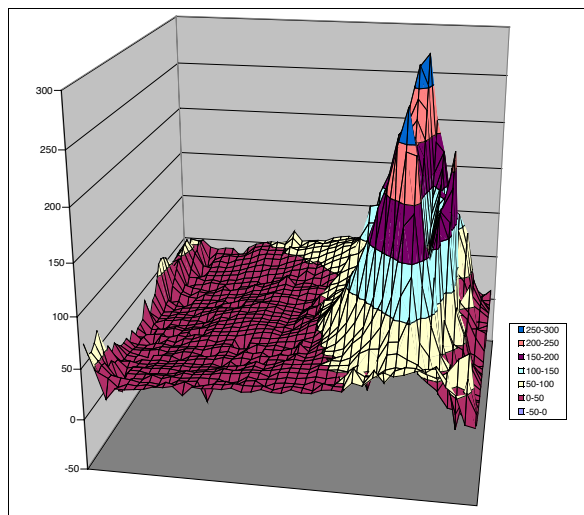


Abb. 49: Rinderzahn Nr. 35 (Braun Oral B, Auflagegewicht 175g); graphische Darstellung der Verteilung der totalen Abrasion

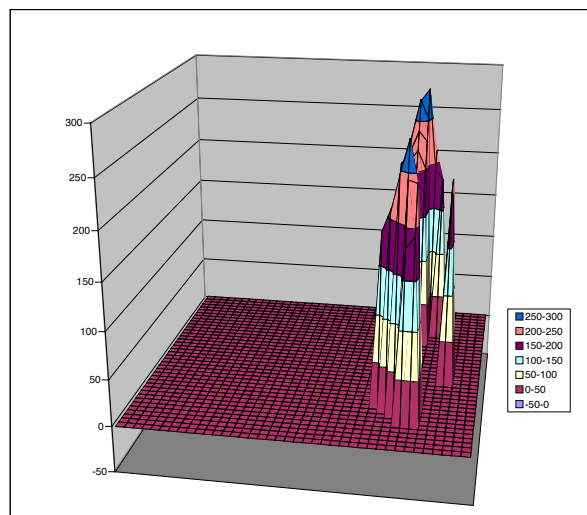


Abb. 50: Rinderzahn Nr. 35 (Braun Oral B, Auflagegewicht 175g); graphische Darstellung der Verteilung der 60 höchsten Werte

#### 4.2.4 Berechnung der grössten durchschnittlichen Abrasionstiefe

Aus dem Durchschnitt der 60 höchsten Werte kann die durchschnittliche Abrasionstiefe im Areal der 60 höchsten Werte berechnet werden:

Sonicare Optiva bei Auflagegewicht 100g: 0.145 mm

Braun Oral B bei Auflagegewicht 100g: 0.117 mm

Sonicare Optiva bei Auflagegewicht 175g: 0.138 mm

Braun Oral B bei Auflagegewicht 175g: 0.154 mm

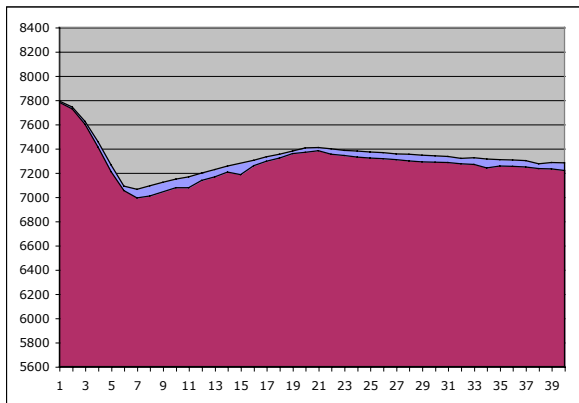


Abb. 51:  
Schnitt längs durch die Mitte des Zahnes (20. Spalte der Messtabelle der Messungen i, a). Blau ist die Ausgangskontur (Messung i), rot die Zahnkontur nach Abrasion (Messung a).  
Die Grössenverhältnisse der z - zur x- Achse sind proportional korrekt. Z - Achse:  $\mu\text{m}$ , x - Achse Nummern der Messpunkte.  
Zahnnummer 37 ( Sonicare, Auflagegewicht 175 g), keilförmiger Defekt links in der Grafik

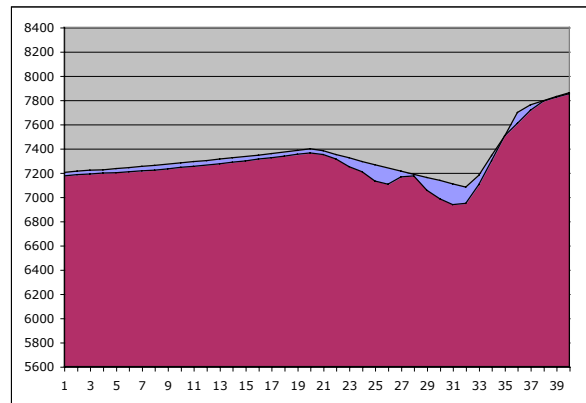


Abb. 52:  
Schnitt längs durch die Mitte des Zahnes (20. Spalte der Messtabelle der Messungen i, a). Blau ist die Ausgangskontur (Messung i), rot die Zahnkontur nach Abrasion (Messung a).  
Die Grössenverhältnisse der z - zur x- Achse sind proportional korrekt. Z - Achse:  $\mu\text{m}$ , x - Achse Nummern der Messpunkte.  
Zahnnummer 42 (Braun oral B, Auflagegewicht 175g), keilförmiger Defekt rechts in der Grafik

## 5. Diskussion

### 5.1 Einleitung

#### 5.1.1 Definition und Klassifikation

Es gibt, wie beschrieben, sehr verschiedene Klassifikationen für keilförmige Defekte. Für die praktische Anwendung in der Klinik sind andere Kriterien gefragt als für Laboruntersuchungen. Während die Einteilung nach Klimm et al. (1990) mit 6 Unterscheidungen der Enfacekontur und die Einteilung nach Hong Fa-lian et al. (1988) mit 3 Formkategorien in der klinischen Anwendung schwierig zu verwenden sind, sind die Einteilungen mit metrischen Kriterien (LUSSI ET AL. 1993, Tooth Wear Index / BORCIC ET AL. 2004) einfacher zu reproduzieren. Das Abschätzen der Originalkontur des Zahnes kann schwierig sein. Die hohen Kappa - Werte der Übereinstimmung zweier Untersucher bei Lussi et al. (1993) (0.93 bei Grad 1 Läsionen, 1.0 bei Grad 2 Läsionen) unterstreichen aber die klinische Eignung der Einteilung, deren Vorteil vor allem in der Einfachheit liegt (HONG FA-LIAN ET AL. 1988, KLIMM ET AL. 1990, LUSSI ET AL. 1993, BORCIC ET AL. 2004).

Der in dieser Studie präparierte keilförmige Defekt entspräche Lussi et al. (1993) Grad 1.

#### 5.1.2 Ätiologie

Keilförmige Defekte haben eine multifaktorielle Ätiologie. Es scheint immer eine Kombination verschiedener Faktoren erforderlich zu sein, um das klinische Bild eines keilförmigen Defektes hervorzurufen. Die Rolle der Einzelkomponenten bei der Entstehung und Progredienz ist sicher individuell unterschiedlich und nicht endgültig geklärt. Dass Säureangriffe die Zahnhartsubstanz erweichen und deren Resistenz gegenüber mechanischem Abtrag verringern, ist einleuchtend. Dennoch ist bei einer Untersuchung der „Abrasion of eroded root dentine brushed with different toothpastes“ nur ein signifikanter Unterschied zwischen den Zahnpasten, nicht aber zwischen erodierten und unerodierten Wurzeloberflächen festgestellt worden (DE MENEZES ET AL. 2004).

Das Zähnebürsten wird häufig mit keilförmigen Defekten („Bürstdefekte“) in Verbindung gebracht. Die oft rillenförmigen Oberflächen der Defekte und deren Auftreten an Zähnen, die prominent im Zahnbogen stehen, sowie die Assoziation mit häufigem und ausdauerndem Zähneputzen, scheinen dafür Hinweise zu sein (SANGNES 1967, ADDY ET AL. 1987A, ORCHARDSON & COLLINS 1987, LUSSI & SHAFFNER 2000). Das allerdings seltene Vorliegen palatinaler oder lingualer Defekte suggeriert aber, dass es auch Defekte gibt, die ohne Schrubbbewegungen entstehen, da speziell im Unterkiefer lingual die Anatomie Schrubbbewegungen nur schwer zulässt (RUGG-GUN & MACGREGOR 1978).

### 5.1.3 Epidemiologie

Epidemiologische Prävalenzdaten zu vergleichen ist fast unmöglich, da sich jeder Autor einer anderen Einteilung bediente. Dennoch scheint das Auftreten keilförmiger Defekte in vielen Kulturkreisen ein Problem darzustellen. 1999 hatten 20- bis 69-jährige Einwohner des Kanton Zürich mehr Wurzeln mit keilförmigen Defekten als Wurzeln, die gefüllt oder kariös waren. Erst bei den 70 bis 79-Jährigen änderte sich das Verhältnis (MENGHINI ET AL. 2002) (Abb. 1). Die keilförmigen Defekte werden damit bei den unter 70-Jährigen zur häufigsten Pathologie der Wurzeloberfläche.

## 5.2 Material und Methoden

### 5.2.1 Materialien

#### 5.2.1.1 Zahnmaterial, Aufbereitung und Lagerung der Zähne

Für die Untersuchung wurden Rinderzähne von Schlachtvieh verwendet. Der Vorteil frischen und nicht vorbehandelten Zahnmaterials steht der Artenfremdheit und der übergrossen Zahnanatomie gegenüber. Es wurde darauf geachtet, dass das möglicherweise noch vorhandene koronale Zement mit sorgfältiger Politur der Schmelzoberfläche entfernt wurde. Die Übergrösse der Zähne konnte in diesem Fall problemlos durch approximales Beschleifen auf 7 mm (entspricht durchschnittlicher menschlicher Prämolarenbreite) korrigiert werden, da das vermessene Feld nicht in der Nähe des beschliffenen Randes liegt (STÖCKLI & BEN-ZUR 1994). Der zu grosse Radius der Wurzel konnte hingegen nicht korrigiert werden.

Dass Rinderzähne als Ersatz für humane Zähne in Abrasionsstudien verwendet werden können, wurde bereits früher gezeigt (IMFELD 2001).

Die Lagerung in Frischwasser erfolgte, da Effekte von konservierenden Substanzen auf die Zahnbeschaffenheit nicht untersucht sind.

Durch Präparation kann die Form eines keilförmigen Defektes simuliert werden, die Oberflächenbeschaffenheit jedoch nicht. In vivo wird davon ausgegangen, dass infolge Tertiärdentinbildung während der langen Entstehungszeit der Defekte nur sehr wenige Dentintubuli eröffnet sind, während in dieser Arbeit in frisch geschliffenen Defekten wohl alle Dentintubuli eröffnet waren (SCHRÖDER 2000). Des weiteren handelte es sich auch um junge Rinderzähne, deren Sklerosierungsprozess der Dentintubuli noch nicht weit vorangeschritten sein dürfte. Deshalb wiesen die Zahnoberflächen in den experimentellen keilförmigen Defekten wohl nicht die selben mechanischen Eigenschaften auf wie in vivo. Es ist anzunehmen, dass sklerosierte Zahnoberflächen gegenüber Abrasion widerstandsfähiger sind als nicht sklerosierte Oberflächen. In einigen REM-Aufnahmen ist aus den Dentintubuli ausströmende Lagerungsflüssigkeit sichtbar (Abb. 53).

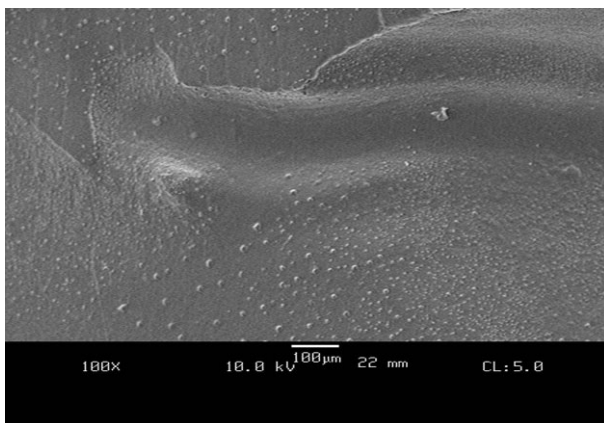


Abb. 53:  
Zahn Nr. 19 Sonicare 250g Vergrösserung  
der li Randregion mit austretender Lage-  
rungsflüssigkeit aus den Dentintubuli

#### 5.2.1.2 Slurry

Der für die Untersuchung verwendete Slurry wies eine relative Dentin Abrasion (RDA) von 100 auf (ISO 11609, 1995-12-15). Somit entsprach das Abtragspotential des Slurrys einer abrasiven Zahnpaste. Der RDA-Wert hat per definitionem einen direkten,



linearen Einfluss auf den Dentinabtrag (HEFFERREN 1976, ADDY & HUNTER 2003, HOOPER ET AL. 2003). Gemäss unseren Empfehlungen ist eine Zahnpaste mit RDA 100 nicht für den täglichen Gebrauch geeignet. Da diese Mischung aber für die RDA - Versuche als Standard dient, wurde sie auch hier verwendet (IMFELD & SENER 1998B)

Der Abrasivkörper (Calciumpyrophosphat) dürfte kaum einem Verschleiss unterliegen und hätte das Wechseln des Slurrys nicht erfordert. Da der Abrasivkörper aber sedimentiert, erforderte dies das stündliche Wechseln des Slurrys. Die Menge von 20 ml pro Zahn wurde gewählt, damit die Zähne etwa zur Hälfte von Slurry bedeckt waren und die Bürstenköpfe durch die Auslenkung der Bürstmaschine ins Slurryreservoir getaucht wurden.

### 5.2.1.3 Elektrische Zahnbürsten

Die Zahnbürstmodelle Sonicare Optiva 1996/1997 und Braun Oral B D 9 1996/1997 wurden gewählt, weil sie sich im Bürstmuster (Braun oral B: rotierend/oszillierend vs. Sonicare Optiva: wischend) unterscheiden und es sich um in den Haushalten weit verbreitete Modelle handelt. Als Bürstenköpfe (Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20, Braun FlexiSoft EB 17-4) wurden handelsübliche, oft verkaufte Modelle gewählt. Durch Kurzschliessen der elektrischen Zahnbürsten und das Betreiben über eine externe Spannungsquelle (2.5 V) konnte den elektrischen Zahnbürsten eine konstante Leistung über Stunden abverlangt werden, ohne dass sich Batterien erschöpften oder eingebaute Timer (Modell Sonicare) die Bürsten alle 2 Min. stoppten. Dies simuliert die klinische Situation, bei der die Zahnbürsten zu Hause immer in der Ladestation stehen, am besten.

## 5.2.2 Bürstmaschine

### 5.2.2.1 Apparatur

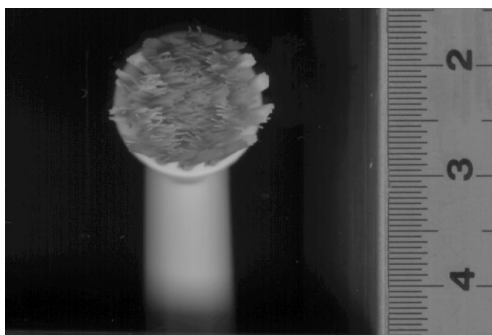


Abb. 54a.  
Bürstenscan des  
Braun FlexiSoft  
EB 17-4 etwa 30  
Min. nach Be-  
lastung mit 250g  
über 180 Min.

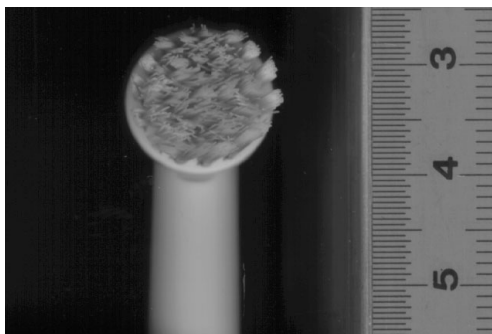


Abb. 54b.  
Bürstenscan des  
Braun FlexiSoft  
EB 17-4 etwa 24  
Std. nach Belas-  
tung mit 250g  
über 180 Min.

Die Auflagekräfte von 1 N, 1.75 N und 2, 5 N wurden klinischen Versuchen entnommen und entsprechen üblichen Grössen bei Versuchen mit Zahnbürsten (VAN DER WEIJDEN ET AL. 1996, BOYD ET AL. 1997, IMFELD ET AL. 2000).

Im Handgebrauch haben die Borsten nach jeder Zahnreinigung die Möglichkeit, sich vom Druck zu erholen. Bei Dauerbetrieb von 3 Stunden ist das nicht möglich. Dennoch wurden die Zahnbürstenköpfe nicht übermässig beansprucht. Scans der Bürstenköpfe, 30 bis 60 Min. nach der Belastung angefertigt, gaben nur bedingt Aufschluss

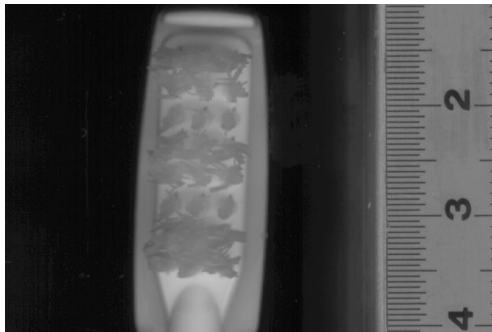


Abb. 55a.  
Bürstenscan des  
Philips Sonicare  
Advance 4000  
series Medium  
HX 4002/20 etwa  
30 Min. nach Be-  
lastung mit 250g  
über 180 Min.

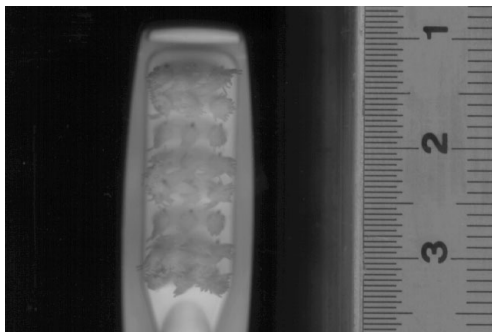


Abb. 55b.  
Bürstenscan des  
Philips Sonicare  
Advance 4000  
series Medium  
HX 4002/20  
etwa 24 Std.  
nach Belastung  
mit 250g über  
180 Min.

über den Zustand der Borsten, da sich diese sehr schnell erholen und wieder aufrichten. Deshalb wurde das Verhalten der Bürstenköpfe und des Bewegungsmusters während der Laufzeit regelmässig kontrolliert. Dabei wurde festgestellt, dass das Auflagegewicht von 250 g nach 30 Min. zu einem Zusammendrücken der Borsten führte. Der Bürstenkopf wurde flachgedrückt über die Zähne geführt und das Bewegungsmuster der Zahnbürste wurde nicht mehr auf die Borsten übertragen. Die Gruppe mit 250 g Auflagegewicht wurde deshalb nicht vervollständigt.

#### 5.2.2.2 Ausrichtung der Bürstenköpfe

Die Ausrichtung der Bürstenköpfe wurde bewusst so gewählt, dass die Borsten vom schmelzseitigen Keilabhang abrutschen konnten und sich im keilförmigen Defekt kanalisieren. In vivo deckt die Gingiva den Bereich apikal des keilförmigen Defektes ab. In unserem Modell war das nicht möglich. In der Studie von Luis A. Litonjua et al. (2004) gibt es Hinweise, dass die Borsten vom Gingivakragen in einer ähnlichen Weise in den keilförmigen Defekt abrutschen, wie wir es von der Schmelzerhebung coronal des Defektes beschrieben haben. Der Effekt der Borstenkanalisation im tiefsten Punkt des Defektes würde dadurch noch verstärkt.

### 5.2.3 Untersuchungsmethoden

#### 5.2.3.1 Vermessung der Zähne

Der 3-dimensionale Scanner (3-DS) hat sich für das Vermessen von Zahnoberflächen im Labor PPK bewährt. Gegenüber anderen Messverfahren ist es im 3-DS möglich, die Zähne unter Wasser zu vermessen, da das mechanische Abtasten der Oberfläche von Wasser nicht beeinflusst wird. Dadurch kann der Austrocknung der Zahnoberfläche einer möglichen Veränderung der Resistenz gegenüber mechanischem Abtrag und einer Formänderung des Zahnes durch Dehydratation vorgebeugt werden. Die Anwendung des 3-DS für Proben, die eine schiefe Ebene von bis zu 75° aufweisen, war neu. Das Gerät wurde deshalb für diese Anwendung überprüft. (siehe 3.4 Überprüfung des Messverfahrens).

Das Messquadrat erstreckte sich über den keilförmigen Defekt, dessen coronale Be-

grenzung im Schmelz sowie das umgebende Wurzeldentin. Weil im Schmelzanteil des Messquadrates nur minimale Abrasion zu erwarten war, wurde die Quadratfläche zu Gunsten des Wurzeldentins verschoben. In vivo ist dieser Anteil der Wurzel meist mit Gingiva bedeckt.

### **5.2.3.2 Volumenberechnungen**

Die Volumenberechnungen der Abrasionen basierten auf der Annäherung, dass das Volumen der Summe von Säulen mit  $0.01 \text{ mm}^2$  Grundfläche (Messpunkteraster) entspricht. Da wir Verhältnisse vor und nach mechanischer Gebürstung verglichen, ist diese Annäherung genügend.

### **5.2.3.3 Bürstdauer**

Mit der Bürstdauer von 180 Min. wurde genug Abrasion erreicht, um ‚ausserhalb‘ der Streuung der Versuchsanordnung zu liegen. Die simulierten 1,5 Jahre klinische Bürstzeit entsprechen einem grosszügigen Kontrollintervall in der Praxis.

Der Umrechnung der Labor-Bürstzeit in die klinische Bürstzeit liegt die empfohlene durchschnittliche Zahnputzzeit von  $2 \times 2 \text{ Min.}$  zugrunde (HUBER 1985). Aus den Untersuchungen zur Ätiologie von keilförmigen Defekten geht eine Korrelation mit häufigem und ausdauerndem Zähneputzen hervor (SANGNES 1967, SHEIHAM 1977, BERGSTROM & ELIASSON 1988, LUSSI & SCHAFFNER 2000). Die klinische Zeitdauer des Zähnebürstens wird jedoch eher überschätzt. Dennoch ist unsere Annäherung recht genau, da im Zahnputzzyklus den buccalen und labialen Zahnflächen mehr Aufmerksamkeit zu Teil wird als den oralen (RUGG-GUN & MACGREGOR 1978, HUBER 1985, ADDY ET AL. 1987A, McCracken ET AL. 2005).

## **5.2.4 Überprüfung des Messverfahrens**

### **5.2.4.1 Reiner Messfehler**

Eine Standardabweichung von knapp  $3 \mu\text{m}$  über den ganzen Messbereich ist sehr genau. Auffallend war, dass bei Übergängen vom präparierten Zahnareal (keilförmiger Defekt) zur polierten Zahnoberfläche grössere Streuungen auftraten. Dies ist wohl auf den scharfkantigen Neigungswechsel der Zahnoberfläche in diesen Bereichen zurückzuführen. Eine kleine Verschiebung (x/y-Wert) der Probe in diesem Bereich hat einen grossen Höhenunterschied (z-Wert) zur Folge.

### **5.2.4.2 Repositionsfehler kombiniert mit Messfehler**

Die Streuung war hier, da es sich um die Verkoppelung von Messfehler und Repositionsfehler handelt, wie erwartet grösser:  $9.6 \mu\text{m}$  beim Messen von  $9 \times$  der gleichen Probe ( $9 \times 1$ ) und  $5.6 \mu\text{m}$  beim doppelten Messen von 9 verschiedenen Proben ( $1 \times 9$ ). Auch hier zeigten sich die oben beschriebenen Charakteristika in der Verteilung des

Messfehlers. Es wurde die grössere der beiden Standardabweichung als vermuteter Fehler verwendet.

Nebst der Streuung, wurde auch der durchschnittliche Fehler der totalen Summe der Abrasion berechnet. Er entspricht  $\pm 1720 \times 10^4 \mu\text{m}^3$  oder etwa 2.1 % der durchschnittlichen totalen Summe der Abrasion der 100g Reihe (Braun Oral B und Sonicare Optiva). Für diese Berechnung wurden alle Werte addiert, auch die negativen, da so auch im Hauptversuch vorgegangen wurde. Negative Werte entsprechen einer Zunahme an Zahnhartsubstanz oder einer Falschpositionierung des Zahnes bei der Reposition in positiver z-Achsen-Richtung. Wir gehen davon aus, dass im 3-DS die Messfehler zufällig entstehen. Deshalb macht es keinen Sinn, das Messresultat einseitig zu korrigieren.

### 5.3. Resultate

Bei den frisch präparierten Zahnproben waren die Übergänge der keilförmigen Defekte scharfkantig. Dadurch waren im Volumen der Abrasion auch Abrundungseffekte der Kanten enthalten. Bei der Betrachtung von Verhältnissen fällt dies jedoch nicht ins Gewicht.

#### 5.3.1 Statistische Auswertung

Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zahnputzmustern (rotierend/oszillierend und wischend) konnte weder in Bezug auf die totale Summe der Abrasion noch auf den Abtrag im Areal der 60 höchsten Werte gefunden werden. Die verwendeten Auflagegewichte (100g, 175g) unterschieden sich im Abtrag auch nur insignifikant.

Dass sich die Resultate nicht signifikant unterscheiden, liegt auch an der starken Streuung der Abrasionsmenge innerhalb der Testgruppen. Der grosse Unterschied zwischen den Abrasionsvolumina kann mit unterschiedlicher Widerstandskraft einzelner Zähne gegenüber der Abrasion und mit geringfügigen anatomischen Unterschieden erklärt werden. Durch die unterschiedliche Anatomie (Krümmung der Wurzel in Zahnlongsachse, Kronen-Wurzel-Knick) waren nicht alle Zähne im gleichen Mass der Bürste ausgesetzt.

In anderen Studien wurden zwischen den hier verwendeten Zahnbürsten weitaus grössere Unterschiede festgestellt (IMFELD ET AL. 1998A, SORENSEN & NGUYEN 2002). In der Studie von Imfeld et al. (1998), an Dentin ohne künstliche keilförmige Defekte, wurde die Abrasion über den RDA ermittelt. Die Wurzeln waren anders geformt und es wurde nur 25 Min. gebürstet. Die Resultate sind daher mit dieser Arbeit nicht direkt korrelierbar. Dort bewirkte die Sonicare Optiva Zahnbürste einen über 25 x geringeren Abtrag als die Braun Oral B Bürste. Trotz der vielen methodischen Unterschiede bleibt diese Differenz nicht erklärbar.

Sorensen und Nguyen (2002) setzten in ihrer Untersuchung bei Sonicare Optiva und Braun Oral B die Kontaktzeit des Bürstenkopfes mit der Wurzel als Konstante und nicht die Geschwindigkeit, mit der der Bürstenkopf über die Zahnproben geführt wurde. Dadurch arbeitete der kürzere Bürstenkopf von Braun Oral B länger auf der Zahn-

oberfläche, als er das im klinischen Fall tun würde, weil er langsamer ausgelenkt wird. Im Hausgebrauch wird der Benutzer einer elektrischen Zahnbürste die Bürste nicht langsamer über die Zähne führen, weil der Bürstenkopf kleiner ist. Die klinische Zahnputzzeit ist nicht abhängig von der Bürstenkopflänge der verwendeten Zahnbürste. Dementsprechend erzeugte die Braun Oral B Bürste eine 4 bis 5 mal höhere Abrasion als Sonicare. Der 1,5 mal längere Bürstenkopf von Sonicare Optiva und der doppelt so breite Bürstenkopf von Braun Oral B könnten diese Resultate erklären.

### **5.3.2 Verteilung der Abrasion**

Auffallend war, dass das Areal der grössten Abrasion meistens an der tiefsten Stelle des keilförmigen Defektes lag. Die Defekte vertiefen sich also absolut und relativ. Dies könnte daran liegen, dass die Borsten an den schrägen Seitenwänden und am Schmelz abrutschen und im keilförmigen Defekt kanalisiert werden. Ob das pulpanahe Dentin durch die grössere Dichte und den zunehmender Durchmesser der Dentintubuli der Abrasion weniger Widerstand leistet, ist nicht klar, könnte aber den Effekt der relativen Vertiefung der keilförmigen Defekte verstärken.

### **5.3.3 Grösste durchschnittliche Abrasionstiefe**

Die durchschnittlichen Abrasionstiefen der 60 höchsten Werte (100g und 175g) lagen zwischen 0.117 mm und 0.154 mm. Obwohl dies von Auge nicht erkennbar ist, ist es eine beträchtliche Vertiefung. Allfällige andere synergistisch wirkende Faktoren wie Erosion und mechanischer Stress, waren im Versuch ausgeschlossen, sie könnten in der Klinik das Voranschreiten der keilförmigen Defekte aber beschleunigen.

In einer klinischen Studie wurden Substanzverluste über 3 Jahre der oberen linken Prämolaren von durchschnittlich 0.13 mm (Zahn 24) und 0.18 mm (Zahn 25) gemessen. Die kleinsten Werte lagen bei 0.001 mm, der grösste Wert bei 1.024 mm. Der Proband mit diesem hohen Wert entwickelte einen keilförmigen Defekt (NORDBO & SKOGEDAL 1982).

## 6. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigten keinen signifikanten Unterschied der Abrasionswirkung der geprüften Zahnputzmuster (rotierend/oszillierend und wischend) von zwei elektrischen Zahnbürsten (Sonicare Optiva 1996/1997 mit Bürstenkopf Philips Sonicare Advance 4000 series Medium HX 4002/20 und Braun Oral B D9 1996/1997 mit Bürstenkopf Braun FlexiSoft EB 17-4).

Die Resultate zeigten aber, dass keilförmige Defekte durch die mechanische Mundhygiene relativ und absolut vertieft werden. Keilförmige Defekte und ihre Ursachen sollten deshalb bei Patienten diagnostiziert und in der Krankengeschichte erfasst werden. Zur Therapie gehört auch die Aufklärung der Patienten über die Risikofaktoren Erosion, mechanischer Stress, Abrasion und Speichelquantität und -qualität. Zutreffende Risikofaktoren sollen, wenn möglich, eliminiert werden.

Von den betroffenen Gebissen sollen Abformungen gemacht und Modelle hergestellt werden, um in jährlichen Kontrollintervallen den Verlauf des Zahnhartsubstanzverlustes sowie die Entwicklung der gingivalen Verhältnisse beurteilen zu können. Bei auftretender Vertiefung von keilförmigen Defekten sollen diese mit Restaurationen versorgt werden, um weiterem Zahnhartsubstanzverlust vorzubeugen.

## 7. Anhang

### 7.1 Tabellarische Zusammenstellung

#### 7.1.1 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 100 g Auflagegewicht

Tab. 4: Zusammenstellung der Versuchsreihe der Zahnwurzeln mit Auflagegewicht 100g

Nummer des Zahnes	Bürste	Platz auf der Bürstmaschine ZBM 5	Abformungen und REM-Bilder gefertigt	Nummer des verwendeten Schiffchens	Totale Summe der Abrasion in $10^4 \mu\text{m}^3$	Summe der grössten 60 Werte in $10^4 \mu\text{m}^3$
2^	Sonicare 1	2		1	-	-
3	Sonicare 2	3		2	81669	8244
12	Sonicare 3	6		3	119074	10769
4	Sonicare 1	1		1	79899	7740
5	Sonicare 2	3	*	2	47004	5069
6	Sonicare 3	6	*	3	88373	7289
7	Sonicare 1	1	*	1	87947	8937
8	Sonicare 2	3		2	101209	12114
9	Sonicare 3	6		3	92357	9336
1	BOB 1	1	*	4	55002	5935
10	BOB 2	4		5	70530	7413
11	BOB 3	5	*	6	64869	6581
13	BOB 1	2	*	4	89089	9937
14	BOB 2	4		5	54963	4915
15	BOB 3	5		6	106550	8944
16	BOB 1	2		4	55943	4997
17	BOB 2	4	*	5	76832	7728
18^	BOB 3	5		6	-	-

die mit ^ gekennzeichneten Zahnmuster gingen aufgrund eines Messfehlers verloren

#### Ersatz- zähne

2B	Sonicare 1	2		1	107685	8495
18B	BOB 3	5		6	58020	6590



### 7.1.2 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 175 g Auflagegewicht

Tab. 5: Zusammenstellung der Versuchsreihe der Zahnwurzeln mit Auflagegewicht 175g

Nummer des Zah- nes	Bürste	Platz auf der Bürst- maschine ZBM 5	Abfor- mungen und REM- Bilder gefertigt	Nummer des ver- wendeten Schiff- chens	Totale Summe der Abrasion in $10^4 \mu\text{m}^3$	Summe der grössten 60 Werte in $10^4 \mu\text{m}^3$
22	Sonicare 1	2		1	53934	5855
23	Sonicare 2	3		2	82482	7920
24	Sonicare 3	6	*	3	52037	5072
25	Sonicare 1	1		1	94933	10203
26	Sonicare 2	3		2	92727	8192
27	Sonicare 3	5		3	146477	12260
31	BOB 1	1	*	4	77979	10795
32	BOB 2	4		5	45237	7285
33	BOB 3	5		6	97987	11521
34	BOB 1	2		4	63973	6960
35	BOB 2	4		5	94432	12754
36	BOB 3	6		6	112235	8557
37	Sonicare 1	2	*	1	80541	5797
38	Sonicare 2	4		2	106977	7387
39	Sonicare 3	5	*	3	149977	11880
40	BOB 1	1	*	4	58608	7312
41	BOB 2	3		5	80074	7514
42	BOB 3	6	*	6	102368	10096



### 7.1.3 Zusammenstellung der Zahnmuster mit 250 g Auflagegewicht

Tab. 6: Zusammenstellung der Versuchsreihe der Zahnwurzeln mit Auflagegewicht 250g

Nummer des Zahnes	Bürste	Platz auf der Bürstmaschine ZBM 5	Abformungen und REM-Bilder gefertigt	Nummer des verwendeten Schiffchens	Totale Summe der Abrasion in $10^4 \mu\text{m}^3$	Summe der grössten 60 Werte in $10^4 \mu\text{m}^3$
19	Sonicare 1	1	*	1	115685	8002
20^	Sonicare 2	2		2	-	-
21	Sonicare 3	3		3	106363	8132
28	BOB 1	4		4	139937	10769
29	BOB 2	5		5	138829	13726
30	BOB 3	6	*	6	193424	14787

das mit ^ gekennzeichnete Zahnmuster ging aufgrund eines Messfehlers verloren

#### Ersatzzahn

20B	Sonicare 2	3		2	84963	7914
-----	------------	---	--	---	-------	------

## 8. Herstellerliste

1. Struers GmbH, 8903 Birmensdorf, CH
2. 3M Espe AG, 82229 Seefeld, D
3. ZZMK der Universität Zürich, Eigenproduktion, PPK, 8028 Zürich, CH
4. Maier & Co., 5400 Hallein, A
5. Intensiv SA, 6916, Grancia, CH
6. Ivoclar Vivadent Ets., 9494 Schaan, FL
7. Heraeus Kulzer GmbH, 61273 Wehrheim, D
8. IKA, IG Instrumentengesellschaft AG, 8045 Zürich, CH
9. Leika, 8152 Glattbrugg, CH
10. Coltène AG, 9450 Altstätten, CH
11. Balzer Union AG, 9469 Balzers, FL
12. Amray Inc., Bedford, USA

## 9. Bibliographie

- ACADEMY OF OPERATIVE DENTISTRY: Non-carious cervical lesions. Recommendations for clinical practice. *Oper Dent* 28: 109-113 (2003)
- ADDY M, MOSTAFA P, NEWCOMBE RG: Dentin hypersensitivity: the distribution of recession, sensitivity and plaque. *J Dent* 15: 242-248 (1987a)
- ADDY M, HUNTER ML: Can toothbrushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J* 53: 177-186 (2003)
- ADDY M: Tooth brushing, tooth wear and dentin hypersensitivity - are they associated? *Int Dent J* 55: 261-267 (2005)
- ATTIN T, BUCHALLA W, PUTZ B: In vitro evaluation of different remineralisation periods in improving the resistance of previously eroded bovine dentine against toothbrushing abrasion. *Arch Oral Biol* 46: 871-874 (2001)
- AZZOPARDY A, BARTLETT DW, WATSON TF, SHERRIFF M: The measurement and prevention of erosion and abrasion. *J Dent* 29: 395-400 (2001)
- BERGSTROM J, ELIASSON S: Cervical abrasion in relation to toothbrushing and periodontal health. *Scand J Dent Res* 96: 405-411 (1988)
- BOITEL A: Zur Ätiologie der keilförmigen Defekte: eine klinische Studie. *MedDiss*, Zürich (1976)
- BORCIC J, ANIC I, UREK MM, FERRERI S: The prevalence of non-carious cervical lesions in permanent dentition. *J Oral Rehabil* 31: 117-123 (2004)
- BOYD RL, MCLEY L, ZAHRADNIK R: Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: in vivo determination of average force for use of manual and powered toothbrushes. *J Clin Dent* 8: 72-75 (1997)
- DE MENEZES M, TURSSI CP, HARA AT, MESSIAS DC, SERRA MC: Abrasion of eroded root dentine brushed with different toothpastes. *Clin Oral Investig* 8: 151-155 (2004)
- GOW AM, KELLEHER MG: Tooth surface floss loss: unusual interproximal and lingual cervical lesions as a result of bizarre dental flossing. *Dent Update* 30: 331-336 (2003)
- GRIPPO JO, SIMRING M, SCHREINER S: Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions. *J Am Dent Assoc* 135: 1109-18; quiz 1163-5 (2004)
- HAND JS, HUNT RJ, REINHARDT JW: The prevalence and treatment implications of cervical abrasion in the elderly. *Gerodontology* 2: 167-170 (1986)
- HEFFERREN J: A Laboratory Method for Assessment of Dentifrice Abrasivity. *J Dent Res* July-August: 563-573 (1976)
- HONG FL, NU ZY, XIE XM: Clinical classification and therapeutic design of dental cervical abrasion. *Gerodontology* 4: 101-103 (1988)
- HOOPER S, WEST NX, PICKLES MJ, JOINER A, NEWCOMBE RG, ADDY M: Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentin: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *J Clin Periodontol* 30: 802-808 (2003)
- HUBER AL E: Der Einfluss der Zahnreinigungsdauer auf die Plaquereduktion. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 95: 985-992 (1985)
- HUNTER ML, ADDY M, PICKLES MJ: The role of toothpastes and toothbrushes in the aetiology of toothwear. *Int Dent J* 2002: 399 - 405 (2002)
- IMFELD T: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 104: 151-155 (1996)

- IMFELD T, SENER B, LUTZ F: Mechanische Wirkung von in der Schweiz marktführenden Zahnpasten auf Dentin. *Acta Med Dent Helv* 3: 54-59 (1998a)
- IMFELD T, SENER B: Relative Dentin Abrasion (RDA) by electric toothbrushes. *J Dent Res* 77: 1236 (1998b)
- IMFELD T, SENER B, SIMONOVIC I: In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. *Acta Med Dent Helv* 5: 37-47 (2000)
- IMFELD T: Comparison of the mechanical effects of a toothbrush and standard abrasive on human and bovine dentine in vitro. *J Clin Dent* 12: 92-96 (2001)
- JÄRVINEN VK, RYTÖMAA II, HEINONEN OP: Risk Factors in Dental Erosion. *J Dent Res* 70(6): 942-947 (1991)
- KLIMM W, HERBERT J, BOHM B, HACKERT M: [Clinical variations of the so-called wedge-shaped defect]. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 78: 713-716 (1990)
- KREJCI I, REICH T, BUCHER W, LUTZ F: Eine neue Messmethode zur dreidimensionalen Verschleissmessung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 104: 160-169 (1994)
- KUROE T, ITOH H, CAPUTO AA, KONUMA M: Biomechanics of cervical tooth structure lesions and their restoration. *Quintessence Int* 31: 267-274 (2000)
- LEE WC, EAKLE WS: Stress-induced cervical lesions: review of advances in the past 10 years. *J Prosthet Dent* 75: 487-494 (1996)
- LEVITCH LC, BADER JD, SHUGARS DA, HEYMANN O: Non-carious cervical lesions. *J Dent* 22: 195-207 (1994)
- LITONJUA LA, ANDREANA S, BUSH PJ, TOBIAS TS, COHEN RE: Wedged cervical lesions produced by toothbrushing. *Am J Dent* 17: 237-240 (2004)
- LUSSI AR, SCHAFFNER M, HOTZ P, SUTER P: Epidemiology and risk factors of wedge-shaped defects in a Swiss population. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103: 276-280 (1993)
- LUSSI A, SCHAFFNER M: Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period. *Caries Res* 34: 182-187 (2000)
- MCCRACKEN G, JANSSEN J, HEASMAN L, STACY F: Assessing adherence with toothbrushing instructions using a data logger toothbrush. *Br Dent J* Jan 8;198: 29-32 (2005)
- MENGHINI G, STEINER M, HELFENSTEIN U, IMFELD C: Zahngesundheit von Erwachsenen im Kanton Zürich. *Schweizerische Monatsschrift Zahnmedizin* 112: 708-717 (2002)
- MÖSNER E: Überarbeitung einer Methode zur radiochemischen Bestimmung der Dentinabrasion durch Zahnpasten. *MedDiss, Zürich* (1997)
- NORDBO H, SKOGEDAL O: The rate of cervical abrasion in dental students. *Acta Odontol Scand* 40: 45-47 (1982)
- ORCHARDSON R, COLLINS WJN: Clinical features of hypersensitive teeth. *Br Dent J* 162: 253-256 (1987)
- OSBORNE-SMITH KL, BURKE FJT, WILSON NHF: The aetiology of the non-carious cervical lesion. *Int Dent J* 49: 139-143 (1999)
- PINTADO MR, DELONG R, KO CC, SAKAGUCHI RL, DOUGLAS WH: Correlation of noncarious cervical lesion size and occlusal wear in a single adult over a 14-year time span. *J Prosthet Dent* 84: 436-443 (2000)
- RUGG-GUN AJ, MACGREGOR ID: A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res* 13: 382-389 (1978)
- SANGNES G: Traumatization of teeth and gingivae related to habitual tooth cleaning. *J Clin Periodontol* 3: 94-103 (1967)

- SCHRÖDER HE: Orale Strukturbilogie. 5. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (D): p114 (2000)
- SHEIHAM A: Preventive control of periodontal disease. In: Klavan, B et al, eds, International Convergence on Research into the Biology of Periodontal Disease 308-309 (1977)
- SORENSEN JA, NGUYEN HK: Evaluation of toothbrush-induced dentin substrate wear using an in vitro ridged-configuration model. Am J Dent 15: 26B-32B (2002)
- SPRANGER H: Investigation into the genesis of angular lesions at the cervical region of teeth. Quintessence Int 26: 149-154 (1995)
- STÖCKLI PW, BEN-ZUR ED: Zahnmedizin Bei Kindern und Jugendlichen. 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (D): p 35 (1994)
- VAN DER WEIJDEN GA, TIMMERMENN MF, REIJERSE E, SNOEK CM, VAN DER VELDEN U: Toothbrushing force in relation to plaque removal. J Clin Periodontol 23: 724-729 (1996)
- WHITEHEAD SA, WILSON NH, WATTS DC: Development of noncarious cervical notch lesions in vitro. J Esthet Dent 11: 332-337 (1999)

## 10. Curriculum Vitae

Urs Christoph Keller von Weinfeld TG

08. Mai 1974	Geboren in Zürich
1981 – 1987	Primarschule in Zollikon (ZH)
1987 – 1991	Freies Gymnasium Zürich (ZH) (Realgymnasium Typus B, bis zur dritten Klasse)
1992 – 1995	Berufsschule für Pflege Rotes Kreuz Zürich (ZH)
1995	Diplom Krankenpfleger in allgemeiner Krankenpflege (AKP)
1995 – 1996	Anstellung als diplomierter Krankenpfleger AKP Rotkreuz Spital, Zürich Fluntern (ZH)
1996 – 1999	Kantonale Maturitätsschule für Erwachsene des Kantons Zürich (Typus C)
1999	Maturität Typus C
1999 – 2004	Studium der Zahnmedizin an der Universität Zürich (ZH)
10 / 2004	Staatsexamen in Zahnmedizin an der Universität Zürich
2004 – Dato	Assistenz Zahnarzt in 2 Privatpraxen im Raum Zürich